مبادي الطبيعة

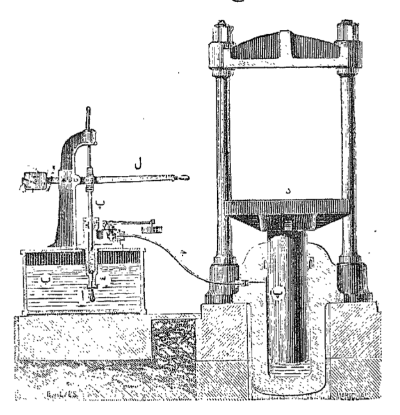
جزء التثاقل

تأليف

ابراهيم مصطفى

مدرس الكيمياء بالمدرسة الطبية

(صرحت نظارة المعارف بطبع هذا الكتاب وقد احتوى على مائة شكل)



(الطبعة الاولى)

(بالمطبعة الباهرة ببولاق مصر القاهرة سنة ١٣٠٥ هجرية)

لاغنى لعلوم هذه المدرسة عنها ولا تفهم بدونها ولابدّ لهذا العلم وبقية علوم الطبيعة من أن تأخذ مكانها لاحتياج غيرها لها احتياجا شديدا

ولقد أدركت ادارة نظارة المعارف العمومية فى وقتنا هذا محل علم الطبيعة وبقية العلوم المبنية على التجارب والمشاهدات بين العلوم فاعتنت بشأنها واستحضرت معدّاتها وتعهدتها ووجهت عنايتها نحو تدريسها فى المدارس وفى التجهيزية وفى مدرسة دار العلوم فاستحق وكيلها سعادة يعقوب باشا أرتين ثناء الجميع والشكر على هذا الصنيع اذلاشك أن ذلك مما يسمو به التعليم ويجعله أوفق بحال المدارس الخصوصية وأنفع من ذى قبل بتعويده الفكر على الاحكام ودقة المشاهدة واستنتاج النتائج الصادقة منها وهل يسوغ تصغير أهمية علم كهذا مع ان الجناب الخديوىّ المعظم ((محمد توفيق باشا)) حفظه الله قد وجه عنايته السنية الى تقديم كل علم وصوّب نظره العلىّ الى ترقية كل وسيلة يترتب عليها فائدة البلاد ولم يفرق بين علم وعلم أدامه الله ظهيرا للعلم وأهله ومتع الناس ببقاء دولته وعدله

ولذلك رأينا أن نساعد ادارة المعارف فى جدّها وعنايتها بهذه العلوم بان نضع كتابا فى مبادى الطبيعة اذ وجب على الكل السعى فى نفع وطنه بقدر طاقته وماتصل اليه يده فأخذنا فى وضع هذا الكتاب وجعلناه أجزاء هذا هو الجزء الاول منها قسمناه الى مقالتين الاولى تشتمل على مقدّمة فى التعاريف التى يلزم العلم بها قبل الدخول فى هذا العلم ومطلبين مطلب فى المادة وتكوينها وآخر فى القوانين الاكثر عموما التى بدونها لاتفقه أحكام علم الطبيعة والمقالة الثانية قسمناها الى مقدمة وثلاثة مطالب شرحنا فيها كل مايتعلق بالتثاقل ووجهنا كل عنايتنا الى القوانين والاحكام ولم نأت فيه الاعلى شرح الضرورى من الاجهزة وماكانت معرفته ضرورية لفهم بعض القواعد والاحكام ولم نتوسع فى شرح هذه الأجهزة كما فعل غيرنا لان القصد من علم الطبيعة هو العلم بالقوانين المنقادة لها الظواهر المختلفة ومأمولنا أن يصادف عملنا هذا من المتعلمين اقبالا ومن المعلمين استحسانا

القاهرة ٤ رجب سنة ١٣٠٥ الموافق ١٧ مارث سنة ١٨٨٨

ابراهيم مصطفى



بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله العالم بحقائق الاشياء اجمالا وتفصيلا والصلاة والسلام على سيدنا محمد الذى فضله الله على الانبياء تفضيلا (وبعـــد) فان علم الطبيعة صار اليوم من الضروريات فاحس كل بلزوم معرفته خصوصا فى تعلم الطب اذ لاينكر اليوم انسان ما للمؤثرات الطبيعية سواء كانت أسبابا أو نتائج من التأثير فى وظائف الكائنات الحية فضلا عن كون المشتغلين بدراسة الظواهر الفسيولوجية والمرضية محتاجين فى أبحاثهم الى استعمال الوسائط المحكمة الدقيقة التى يرشد اليها علم الطبيعة وسائط كان لها فى تقديم علم الطب دخل عظيم فالميكروسكوب وجهاز الاستقطاب والاستقصاء أجهزة صارت من أقوى وسائل البحث والتشخيص لاغنى لطبيب عنها وبقياس انحناآت السطوح الكاسرة للعين بواسطة الافتالمومتر ومعرفة الحدود التى تتغير فيها هذه الانحناآت تقدّم علم الرمد تقدّما واسعا والكهربائية صارت من المؤثرات الدوائية وبها أمكن معرفة وظائف كثير من أجزاء البنية وكذلك الميكروفون وبقوانين الطبيعة علمت وظائف كثير من الحواس وحركات القلب وقانون حفظ القوى واستحالة بعضها الى بعض وتكافئها له فى الفسيولوجية أهمية لاتنكر وغير ذلك مما يطول شرحه وبالجملة فقواعد الميكانيكا والقوانين الاساسية للتثاقل والتأثير الجزيئى والصوت والكهربائية والحرارة صارت من الامور اللازمة للفسيولوجية ولقانون الصحة والطب فاحتياج هذه العلوم الى قوانين علم الطبيعة أشهر من أن يذكر ومن بواعث الاسف أن نرى بعض رجال المدارس الخصوصية لايرى هذا العلم وبقية علوم الطبيعة الا علوما ثانوية فسعى فى تصغير أهمية هذا العلم معها مع أنه

المقالة الاولى

مقدمة

١ — تعاريف — الانسان بماله من الحواس يشعر بأشياء مختلفة هى الاجسام وتسمى مادّة وبما تعمله هذه الاجسام فى الحواس يتميز بعضها عن بعض وتكون فى بعض الاحيان مجالسا لتغيرات مختلفة وكل فعل تظهر منه صفات الجسم أو تغيراته يسمى فى علم الطبيعة ظاهرة ومجموع الاجسام هو العالم ويسمى أيضا الكون واعلم أن بعض الاجسام لا يمكن وجوده الا فى شكل ونسيج مخصوص أى فى تركيب خاص به بشرط أن المواد المتركبة منها هذه الاجسام تتجدد على الدوام فهذه هى الاجسام المتعضونة أى الحية النباتات والحيوانات وهى العالم العضوى ومدة حياة أفراد هذه المملكة محدودة وفيها خاصة التوالد أما بقية أجسام العالم غير المتمتعة بما للاجسام الحية مما ذكرناه من الصفات فتسمى الاجسام اللاعضوية (أى غير العضوية) والجمادات والى الآن لم يمكن الوصول الى استكشاف شئ آخر فى الاجسام المتعضونة غير الاجسام اللاعضوية

واذا تأملنا ما فى الكون من الاشياء المختلفة والظواهر المتباينة علمنا امكان النظر لها من وجهتين مختلفتين تفتحان للعلم طريقين متميزين

فاذا نظر لها بالنسبة للحال بقطع النظر عما يعرض لها من التغيرات فى الزمن والمسافة ظهر الكون كأنه عبارة عن اجتماع كائنات منعزلة فى سكون ولهذه الكائنات صفات عامة وخاصة تصير بها منقسمة الى طوائف مختلفة العدد كثرة وقلة وعمل هذا التقسيم على قواعد علمية توصلا الى معرفة الكون بترتيب هو موضوع علم التاريخ الطبيعى واذا لم ينظر للاشياء نفسها معتبرة فى سكون بل نظر الى ما يحصل فيها من التغيرات المختلفة وبحث عن كنه وأسباب هذه التغيرات كان ذلك موضوع علوم الطبيعة وقد قسموا هذه العلوم الى قسمين رئيسين علم الطبيعة وعلم الكيمياء

ولا تقبل المادة الانقسام لا الى نهاية وقد سمى الجزء الغير الممكن تقسيمه بالطرق المعلومة على اختلافها ميخانيكية كانت أو كيماوية بالذرّة ولا توجد الذرّات منفردة منعزلة وانما تجتمع فى الغالب بغيرها من جنسها أو من جنس آخر فتتكوّن الجزيئات وباجتماع عدد كثير أو قليل من هذه الجزيئات تتكوّن الاجسام

وتنقسم الظواهر الى كيماوية وطبيعية بحسب مايحصل من التغير فى الاجسام فان كانت نتيجة تغير فى التكوين الخاص بالجسم أى متسببة عن اختلاف فى موازنة الذرّات لتفاوت فى كيفية ارتباطها أو تغير فى طبيعتها فهى الظاهرة الكيماوية ومثالها استحالة الحديد الى صدإ واستحالة المادة الدسمة بالقلويات الى صابون

وان كانت الظاهرة ناشئة عن تغير موازنة الجزيئات بنسبة بعضها الى بعض بحيث لا يصل هذا التغير الى الذرّات فهى الظاهرة الطبيعية ومثالها جذب الكهربا للاجسام الخفيفة اذا دلكت بقطعة من الصوف وكون القضيب الذى من الصلب يصير مغناطيسيا بمرور تيار كهربائى حوله

ولا تتعلق صفات الجسم الكيماوية الا بطبيعة الذرّات وبكيفية ارتباطها وأما صفاته الطبيعية فهى فضلا عن تعلقها بما ذكر تتعلق بكيفية ارتباط الجزيئات فلا تتغير طبيعة الجسم الا بتغير يحصل فى تكوّن جزيئاته وقد يظهر الجسم الواحد فى حالات طبيعية مختلفة مع بقائه كما كان بالنسبة لحالته الكيماوية

وقد دلت المشاهدة على ان كل ظاهرة كيماوية تكون مصحوبة بظواهر طبيعية

والظواهر الخاصة بالاجسام الحية وتسمى أحيانا بظواهر الحياة تكون مصحوبة بظواهر كيماوية أوطبيعية أو بهما معا وبتدقيق البحث تبين أنها ظواهر كيماوية أو طبيعية أكسبتها الحياة طرزا مخصوصا بسبب مالها من الاعضاء وبذلك تعينت دراسة الظواهر الطبيعية والكيماوية قبل دراسة الظواهر الحاصلة فى الاجسام الحية المسماة بالظواهر الفسيولوجية

٣ — القانون — أوّل شئ يتنبه اليه الفكر هو انتظام ظواهر الطبيعة فى ظهورها ألا ترى ان الاجسام مثلا تسقط دائما نحو سطح الارض وأن النجوم تقطع مدارها فى مدد محدّدة ثابتة لا تزيد ولا تنقص والبندول يهتز تبعا لقواعد لا يتغير نسقها ولا تختل أحكامها ويعبر عن هذا الانتظام وظهور الظواهر بهذا الاحكام بانقياد ظواهر الكون الى قوانين ويقال لكل طائفة من الظواهر التى كيفية ظهورها ثابتة لا تتغير انها منقادة لقانون طبيعى كقانون سقوط الاجسام وقانون البندول والجذب العام

وكل قانون يقتضى وجود علاقة نسبية والظاهرة الطبيعية لا تحدث بطريقة منتظمة الا اذا وجد بالأقل بعض الاحوال التى صاحبت ظهورها فى المرّة الاولى وبالاحكام يمكن أن يقال ان الاحوال المرتبطة بحادثة تشمل حالة العالم وقت حصول الحادثة وحالته قبل فان مجموع الاحوال التى لها دخل فى حصول هذه الحادثة لا يكون تاما الا باعتبار الحوادث الاخرى التى باجتماعها

تكون

تكوّن حالة العالم الى وقت حصول هذه الحادثة ومع ذلك فقد دلت التجربة أن عددا قليلا من هذه الاحوال التى لا تحصى عدّا ولا تنتهى حدّا المرتبطة بها الحادثة له تأثير حقيقى وهذه الاحوال حالية أو ماضية التى لا بدّ من ارتباط الظاهرة بها هى ما يسمى شروط الظاهرة

ولا يمكن معرفة شئ من العالم الطبيعى رجما بل من فحص الظواهر كما هى من غير تخمين فى الاسباب المولدة لها وهذا الفحص يسمى المشاهدة وليست المشاهدة عبارة عن بحث سطحى بل هى دراسة دقيقة مستمرّة وخصوصا أقيسة محكمة لجميع شروط الظاهرة

وعلى العموم الظواهر وشروطها حوادث متضاعفة ولنذكر مثالا يزيل الابهام ويستلفت الافهام بسقوط كرة على سطح منحن فانها تكون متأثرة بحركة بعضها ينسب لجذب الارض وبعضها لمقاومة السطح وآخر لمقاومة الهواء فقانون الحركة يتعلق بهذه الاحوال كلها ومن ثم كان تعين ما لكل من هذه الاحوال من التأثير يستلزم تصيير الظاهرة بسيطة بان تفصل كل حالة عن غيرها من الاحوال وتحويل الظاهرة الى بسيطة بفصل بعض الاحوال التى لها دخل فى ظهور هذه الظاهرة عن بعض وافرادها هو احدى الوسائل القوية والوسائط العلمية التى بها يتوصل الى تفسير الظواهر ويسمى التجربة والعلماء مضطرّون فى معظم الاحوال الى استعمال هذه الوسائل فانه يندر وجود حالة منعزلة من نفسها

ومتى انتهى الافراد الى حالة لا تقبل الاختصار أى متى أدّى العمل الى ظاهرة لا يمكن تحويلها الى أبسط مما وصلت اليه قيل انه استكشف سبب الظاهرة والعلاقة الكائنة بين سبب منفرد ونتيجته قانون بسيط أى قانون لا يمكن انقسامه الى قوانين أخرى يكون هو ناتجا عنها ففى المثال المتقدم اذا تركت جميع الشروط الا التثاقل وأعيدت التجربة باسقاط الكرة فى الفراغ فانه يشاهد قانون بسيط هو قانون السقوط مع ان الكرة بسقوطها فوق سطح منحن تتبع قانونا متضاعفا أى ناتجا عن دخل عدة قوانين بسيطة منها قانون السقوط ويتوصل الى معرفة القوانين الاخرى بالبحث عن تأثير الاحتكاك ومقاومة الهواء وميلان السطح كل على حدته

٣ — الدلالة على القوانين — يمكن الافصاح عن القانون البسيط فى غالب الاحيان بعبارة موجزة كالافصاح عن قانون سقوط الاجسام فى الفراغ بان نقول ان سرعة الجسم الساقط تزداد بنسبة الزمن وان السرعة بعد وحدة الزمن الاولى كمية ثابتة هى ٩٫٨ م اذا كانت الثانية مأخوذة وحدة للزمن واذا رمز لهذه الكمية الثابتة بالحرف ك وللزمن بالحرف ن وللسرعة بالحرف ع فللدلالة على قانون السقوط تكون المعادلة ع = ك ن

ويتأتى اكساب جميع قوانين الطبيعة أشكالا رياضية والدلالة عليها بمعادلات أى بروابط معينة بين الاقيسة المختلفة المكونة للظاهرة ومن البين أنه اذا كان القانون متضاعفا فلا تكون المعادلة فى بساطة التى مثلنا بها

وللمعادلة الرياضية منفعة كبيرة فى علم الطبيعة فان استعمالها يكسب القوانين المدلول عليها بها وضوحا وضبطا سيما وبها يتيسر لنا أن نستخرج من أى قانون جميع نتائجه وأحيانا تكون المعادلات ضرورية لا يستغنى عنها فمن المستحيل التعبير بعبارة واضحة مفهومة عن الارتباطات الكائنة بين مسافات البورات المرتبطة فى انكسار الضوء فى العدسات مع أن الدلالة على هذه الارتباطات سهل بالمعادلة $\frac{1}{م}+\frac{1}{ص}=\frac{1}{س}$ التى فيها م و ص رمز للمسافة بين البورات المرتبطة والعدسة و س رمز للمسافة البورية الرئيسة

ويتأتى أيضا الدلالة على القوانين الطبيعية بخطوط هندسية فاذا اريد تصوير قانون سقوط الاجسام الذى ذكرناه أخذ على الخط ء هـ (شكل ١) مبتدأ من النقطة هـ الاحداثيات الافقية ها و هب و هج الخ دلالة على الازمنة من ابتداء الظاهرة متناسبة معها وفى نقط التقاسيم تقام احداثيات رأسية تكون أطوالها دالة على السرعة المقابلة للازمان المعتبرة ففى هـ وقت ابتداء سقوط الجسم تكون السرعة معدومة ومن ثم يكون الاحداثى معدوما أيضا ثم اذا مضت الثانية الاولى كانت السرعة مساوية ٩٫٨م فيؤخذ

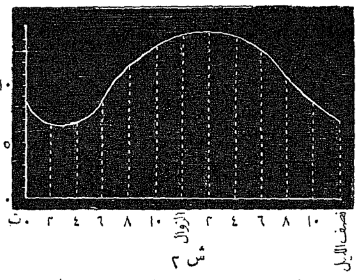
ش ١

للدلالة على هذا الكبر احداثى رأسى طوله اَا مارا من نقطة ا وهى التى تقابل الزمن ١ وحيث ان السرعة تزداد بنسبة الزمن فطول الاحداثيات الرأسية للزمن ٢ و ٣ و ٤ ... الخ يكون على التعاقب ضعف وثلاثة أمثال وأربعة أمثال ... الخ الاحداثى اَا ومن ثم يكون الخط المار بأطراف الاحداثيات الرأسية اَ بَ جَ مستقيما ويكون ميله على الاحداثيات الرأسية متعلقا بالكبر الثابت اَا وهذا الخط هـ ءَ ليس الا صورة للمعادلة ع = ك ن أى للقانون الذى بحسبه تزداد السرعة بالنسبة للزمن المقطوع

وهذه الدلالة نافعة خصوصا فى القوانين المتضاعفة التى وضعها فى صورة معادلة صعب لا تؤخذ منه بسهولة العلاقات الكائنة بين الشروط المختلفة للظاهرة

ومتى كانت العلاقة متضاعفة فانه يكتفى فى الغالب بالدلالة عليها بالصورة الرسمية التى ذكرناها فاذا أريد التعبير عن القانون الذى على حسبه تتغير درجة حرارة الانسان فى الساعات المختلفة من النهار بطريقة رياضية فانه يحصل على معادلة متضاعفة لا ترى منها العلاقة المقصودة بين درجة الحرارة والساعة ولكن هذه العلاقة تؤخذ بسهولة من الصورة الرسمية لهذا القانون (شكل ٢) بمجرد رؤية الخط المنحنى

ومن البين أن الحالة التى مثلنا بها ليست فيها الساعات هى المحدثة لارتفاع أو انخفاض درجة حرارة الجسم وانما نشأ هذا الاختلاف عن أحوال ليست دائما واحدة فى الاوقات المختلفة من



ش ٢

اليوم مثل الحرارة الخارجية والتغذية والنوم واليقظة وغير ذلك وعلى ذلك فالعلاقة بين الحرارة والزمن يمكن ردها الى علاقات متعددة أقل تضاعفا

وفى الغالب لا يجعل فى شكل معادلة الا القوانين البسيطة وباستعمال الدلالات الرسمية للعلاقات المتضاعفة يقصد استبدال عدة معلومات موضوعة فى هيئة جداول بخط يسهل فهمه وقد اقترح واعدة آلات ترسم بنفسها خطوطا دالة على العلاقة بين الزمن وأحد فروع الظاهرة وهذه الآلات هى المسماة بالرواسم وقد كثر استعمالها فى الطب

٤ — الطبيعة والحركة — يمكن تقسيم جميع الظواهر التى يبحث عنها فى علم الطبيعة للوقوف على أسبابها أولا ستنتاجها من أسباب معلومة الى قسمين الاول يحوى الظواهر التى تكون عبارة عن حركة انتقالية للجسم من غير أن يحصل له فى نفسه تغير ولو كان وضعه يتغير بالنسبة للاجسام المجاورة له ومثال ذلك ظاهرة سقوط الاجسام والثانى يحوى الظواهر التى فيها يكون مجموع الاجسام ساكنا ولكن مع حصول تنوع فى صفاتها يمكن ادراكه بالحواس أو الوقوف عليه بوسائط أخر كتجمد الماء وتمغطس الحديد بالتيار الكهربائى وكثيرا ما يكون

فى الظاهرة الواحدة حركة انتقال وتنوّع فى صفات الجسم ومن هنا يمكن القول بان الظواهر التى من موضوع علم الطبيعة هى عبارة عن تغير اما فى الوضع واما فى الصفات واما فى النوعين معا وأبسط هذه التغيرات تغيرات الوضع لان الحركات المختلفة للجسم لا يتميز بعضها عن بعض الا بكبر سرعتها وباتجاه ومقدار الاختلافات التى يمكن حصولها فيها وأما تغير صفات الاجسام فيختلف لا الى نهاية ومع ذلك فقد اعتمدوا تصوّرا به أمكن تفسير عدة من تنوّعات هذه الصفات بقوانين الحركة واذا فالطبيعة تردّ جميع التغيرات الحاصلة فى صفات الاجسام الى حركات الجزيئات النهائية للمادة وحينئذ فعلم الطبيعة هو علم الحركات الحاصلة فى العالم المادّى الا ما كان منها متعلقا بالميل الكيماوى أو مكوّنا لظواهر الحياة فى الاعضاء

٥ — القوّة وأنواعها — ينتج من كون جميع الظواهر الطبيعية عبارة عن حركة أن الاسباب التى يبحث فى علم الطبيعة عن معرفتها هى أسباب حركة لاغير ويسمى اصطلاحا سبب الحركة بالقوّة وأنواع القوى متعددة بتعدد الاسباب المختلفة للحركة غير أن الاجزاء المتحركة فى كل حركة اما أن تتقارب أو تتباعد وبناء على ذلك تكون قوى الكون نوعين قوى جاذبة وقوى منفرة فالثقل قوة جاذبة والقوة الكهربائية تكون منفرة أو جاذبة بحسب كون الكهربائيتين المؤثرة كل منهما فى الاخرى من جنس واحد أو من جنسين مختلفين والحرارة باحداثها كبرا فى حجوم الاجسام تعمل عمل قوّة منفرة وهى مثال لتأثير القوى بين جزيئات جسم واحد والقوى التى من هذا القبيل تسمى القوى الجزيئية

ولا ينسب الطرز المخصوص الذى تكسبه الحياة للظواهر الطبيعية والكيماوية الحاصلة فى الاجسام العضوية الى قوى خاصة بالاجسام الحية متميزة عن باقى القوى لان القوى التى تعمل فى الاجسام الحية هى كالتى تعمل فى باقى أجسام العالم قوى طبيعية وكيماوية وانما ينسب هذا الطرز الى تركيب وكيفية ارتباط الاجزاء المختلفة المكوّنة للاجسام الحية

المطلب الاول

تكوين المادّة وحالات الاجسام

٦ — المادّة — المادّة لا تعرف الا بما تظهره من القوى فهى التى بتأثيرها فى أعضاء الحواس تحدث شعورا بوجودها وتنحصر دراسة الخواص الطبيعية للمادة فى البحث عن هذه القوى

وللمادة المتكونة منها جميع الاجسام صفتان عامتان السعة أى شغلها حيزا من الفضاء وعدم التداخل أى مقاومتها التأثير القوى الخارجة عنها

ولا تفهم المادة بغير هاتين الصفتين فالمادة كل ما كان له سعة وكان فيه خاصة عدم التداخل وانما عرفت المادة بما لها من الخواص التى ترشدنا اليها الحواس للجهل بطبيعتها ولا تكفى السعة وحدها لكون الشئ جسما فالظل ذو سعة ولكنه ليس بجسم لتجرده عن خاصة عدم التداخل

واذا كان قد تبين من تأثير بعض الاجسام فى بعض وجود قوى جاذبة ومنفرة فبالقياس يمكن الحكم بما يقرب من اليقين وهو أن جزيئات المادة متمتعة بهاتين القوتين فيكون تماسك الاجسام مثلا نتيجة جذب جزيئاتها بعضها البعض وبزواله يصير الجسم مسحوقا دقيقا

والى هاتين القوتين معا تنسب الخاصة التى بها الاجسام تقاوم القوى الخارجة المغيرة لشكلها وهذه الخاصة هى المسماة المرونة فاذا رأينا جسما الا ينقاد للقوة الخارجة الممددة له الا بعسر ثم يرجع الى حجمه الاصلى متى انقطع تأثير هذه القوة نسبنا هذه الظاهرة الى وجود قوى جاذبة فى داخل الجسم واذا رأينا جسما يقاوم ضغطا متسلطا عليه لينقص حجمه نسبنا هذه المقاومة لوجود قوى منفرة فى داخل الجسم يظهر فعلها متى أخذت الجزيئات فى التقارب وصغرت المسافة الطبيعية بين الجزيئات وهى المسافة التى عليها تكون القوى الجاذبة والمنفرة فى توازن

ولما كان من الصعب تعلق وجود الجذب والتنافر فى جزىء واحد اعتبرت جميع الاجسام مكونة من نوعين من الجزيئات مختلطين اختلاطا كليا بعضها متمتع بقوة جاذبة وبعضها بقوة منفرة فالاولى هى جزيئات المادة المسماة ذات الوزن لانها تكسب الاجسام الداخلة فى تركيبها خاصة سقوطها نحو الارض فتكون ذات وزن والثانية هى الجزيئات المتمتعة بالقوة المنفرة وتسمى جزيئات المادة عديمة الوزن وجزيئات الايتير وقد اقتضت دراسة ظواهر الضوء اعتبار الايتير مكونا كالمادة ذات الوزن من جزيئات منفصل بعضها عن بعض وأفادت المشاهدة أن الايتير يكون دائما مرتبطا بالمادة ولا أقل من أنه مترا كم فى داخلها ومن ذلك يؤخذ ضرورة تمتع المادة ذات الوزن بجذب العديمته واذن يكون كل جزىء من جزيئات المادة ذات الوزن محاطا بغلاف من جزيئات الايتير ولابد أن يكون هذا الغلاف آخذا فى التلاشى من الباطن الى الظاهر لتنافر جزيئات الايتير

والقوى المنفرة للاثير هي قوى جزيئية محضة أى انها لا تعمل على بعد عظيم وتعتبر شدتها عظيمة من قرب وتصغر بسرعة كلما كبرت المسافة وتصير غير محسوسة متى صار بعد الجزيئات واضحا

ويظهر عمل القوى الجاذبة لجزيئات المادة ذات الوزن من قرب ومن بعد فكل جسم يجذب غيره تكون شدة جذبه على العكس من مربع المسافة بينهما وحركات الاجسام السماوية أمثلة متعددة لتأثير الاجسام المادية من بعد وكذلك سقوط الاجسام نحو الارض

والقوة التى يكون بها كتلتا ك و كَ تتجاذبان تكون متناسبة مع حاصل ضرب الكتلتين واذا لاحظنا أن هذا الجذب يكون على العكس من مربع المسافة فان القانون العام يكون

$$ق = هـ \frac{ك كَ}{م^٢}$$

وهذه معادلة فيها ق رمز لقوة الجذب و ك و كَ للكتلتين و م للمسافة و هـ لقوة الجذب اذا كانت الكتل والمسافة مساوية للوحدة وقد أيدت المشاهدات الفلكية لحركة الكواكب قانون الجذب العام هذا وأظهر (كاوانديش) صحته فى جذب الاجسام الكائنة على سطح الارض فانه شاهد أن كتلة عظيمة من الرصاص تجذب كرة صغيرة معدنية وأبان هذا الجذب بحركة رافعة حساسة وضع فى طرفها الكرة المعدنية

٧ — حالات الاجسام — الاجسام تكون فى حالات مختلفة تسمى بحالات الاجتماع نسبة لكيفية اجتماع الجزيئات ذات الوزن وعدمية بعضها ببعض لتكوّن الاجسام فكل جسم هو عبارة عن جزيئات مجتمعة والفرق بين الاجسام المختلفة بالنظر لحالتها الطبيعية انما هو فى وضع هذه الجزيئات بعضها من بعض وفى حركاتها النسبية فقد تكون صلبة وسائلة وغازية

والصفة المميزة لحالة الصلابة هو أن المادة الصلبة تكون متماسكة فى جميع أجزائها ذات شكل معين لا يتعلق بالمسافة الموجود فيها الجسم ولا بدّ من بذل مجهود فى تغيير شكل مجسم ومن ذلك يستنتج أن الجذب الحاصل بين جزيئات الاجسام الصلبة غالب على نفور جزيئات الاثير وينبغى أن يلاحظ أن الجذب لا يظهر على النفور ظهورا بينا الا اذا كان هناك قوة خارجة تحدث تباعد الجزيئات المادية بعضها عن بعض أما اذا كان هناك قوة خارجة تحدث تقاربها فقوة النفور تظهر على الجذب وتقاوم هذا التقارب واذا لم يكن الجسم متأثرا بقوة خارجة كان بين قوتى الجذب والنفور توازن اذ لو كانت قوة الجذب غالبة دائما لكان حجم الجسم آخذا

آخذا دائما فى النقصان وجزيئات الجسم فى حالة السيولة تنزلق على بعضها مع بقاء المسافات بين الجزيئات المتجاورة ثابتة ولذلك كان كل سائل يكتسب شكل الاوانى التى وضع فيها من غير تغير فى حجمه الا اذا كان مضغوطا من جميع الجهات ضغطا شديدا ويستنتج اذن من ذلك أن قوى الجذب والنفور العاملة بين جزيئات السائل فى توازن مهما كان الوضع النسبى لهذه الجزيئات

وفى الحالة الغازية يكون للاجسام ميل لأن يكبر حجمها لاالى نهاية فتشغل دائما المسافات المعرضة لها مهما كانت سعتها ولذلك ينسب للغازات قوة انتشار مقابلة للتماسك الموجود فى الاجسام الصلبة وسبب الحالة الغازية هو تسلطن تأثير القوة المنفرة للجزيئات

وقد يكتسب الجسم الواحد الاحوال الثلاثة الصلابة والسيولة والغازية فبتأثير الحرارة يصير الصلب سائلا مع ازدياد فى حجمه ويصير السائل غازيا فيكتسب حجما أكبر مما كان عليه ومن ذلك يمكن أن يستنتج أن تباعد الجزيئات يكون أصغر ما يكون فى الاجسام الصلبة وأعظم ما يكون فى الغازات ويسهل تفسير أحوال الاجسام بما قدمناه من اختلاف الجذب والنفور باختلاف المسافات فالقوة الجاذبة للجزيئات تكون بعكس المسافات التى بين هذه الجزيئات فاذا حصل تغير فى حجم جسم تباعدت جزيئاته فاذا صارت على مسافات متباعدة بحيث لا يكون جذب هذه الجزيئات بعضها البعض الا ضعيفا لكنه كاف لارتباط بعضها ببعض مع كونه غير كاف لمنع انفصالها بتأثير قوة خارجة مهما كان صغرها كثقل هذه الجزيئات صار الجسم الصلب حينئذ سائلا فاذا استمر ازدياد الحجم الى أن يفوق فيه نفور جزيئات الاثير المغلفة لجزيئات المادة على القوة الجاذبة اكتسب الجسم قوة الانتشار أى صار غازيا

وهناك عدد قليل من الاجسام يظهر من كيفية تغير حالاتها عدم انقيادها للقاعدة التى ذكرناها وهى ازدياد حجم الاجسام بانتقالها من حالة الصلابة الى حالة أخرى وذلك كالماء فان حجمه يكبر بالتجمد وبالتأمل يرى أن عدم الانقياد هذا ليس الا أمرا ظاهريا فان تصلب الماء انما هو تبلوره والمسافات بين جزيئات الاجسام المتبلورة لا تكون واحدة فى جميع الاتجاهات ويكفى فى تصلب جسم حصول تقارب جزيئاته فى اتجاه واحد وأما حصول النقصان فى حجم جسم فيكون بنقصان فى المسافات بين الجزيئات فى جميع الاتجاهات

المطلب الثـانى

فى القوانين التى هى أكثر عموما

٨ — قانون القصور الذاتى ويسمى قانون الاستمرار — المـادّة قاصرة فليس فى وسعها أن تغيـر بنفسها سكونها أو حركتها وبعبارة أخرى ان الجسم اذا كان فى حالة فانه يبقى عليها الى أن تؤثر فيه قوة فاذا كان فى حالة السكون بقى عليها وان كان متحركا استمر فى حركته فمفاد هذا القانون بقاء كل شئ على ماهو عليه الى أن يطرأ عليه مايغيره عن حاله وينتج منـه ان لكل شئ سببا

٩ — قانون حفظ المـادّة — المـادة لا تتجدد ولا تنعـدم وقد يشاهد فى بعض الاحوال مايؤخذ منه عدم اطراد هذا القانون وذلك كالاحتراق واستحالة الاجسام الى بخار وقد دلت التجارب طبيعية وكيماوية على أن عدم الاطراد هذا هو تخيل لا حقيقة له وينتج من عدم امكان انعدام المـادة وتجددها أن التغيرات الحاصلة فى العالم منحصرة فى حركة لانه مادامت كمية المـادة غير قابلة للزيادة والنقصان فـما يحصل من التغير فى المـادة انمـا هو انتقالات فى أجزائها

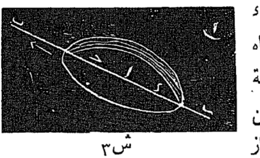
١٠ — قانون مساواة الفعل لردّه — اذا أثر جسمان أحدهما فى الآخر ليتجاذبا أو يتنافرا فتأثير الاول فى الثانى يكون مساويا لتأثير الثانى فى الاوّل وبعبارة أخرى ان رد الفعل يكون مساويا ومضادّا للفعل فقطعتا الحديد والمغناطيس تتجاذبان بقوّة واحدة والجسم الساقط نحو الارض يجـذبها بقدر جذبها له غـير أن تأثيره فيها غير محسوس لتوزعه على كتلة عظيمة والمسمـار المعلق فيه ثقيل بخيط يحدث فى الخيط شـدا من أسفل الى أعلى مساويا لمـا يحدثه الثقيل فى الخيط من أعلى الى أسفل

ويستنتج من هذا القانون قانون مهم آخر مؤيد بالتجربة وهو أن القوّة التى بها يؤثر جسم فى آخر تكون متناسبة مع حاصل ضرب كتلتى الجسمين لانه من المسلم ان التأثير الواقع من أحدهما فى الآخر هو نتيجة التأثيرات الجزئية لكل جزء من اجزاء الجسم

١١ — القوّة — هى كل سبب يمكن به حصول حركة أو تنوّعها وتعرف بثلاثة أشـياء (١) نقطة ارتكازها أى النقطة التى تؤثر فيها مبـاشرة (٢) طريقها أى الخط الذى يتبعه الجسم اذا أثرت هذه القوّة وحدها فيه ويكون هذا الطريق مستقيمـا ومن ذلك يعلم أنه اذا اتبع جسم فى سـيره طريقا غير مستقيم كان ذلك نتيجة تأثير عدّة قوى معا فيه قوّتين فى الاقل (٣) شدّتها أى قيمتها العددية مقدرة بوحدة القوى

والدلالة الهندسية المستعملة للقوى هى خط مقام من نقطة ارتكاز القوة متجه فى اتجاهها وطوله مقدار من وحدة الطول مساو لما فى القوة من وحدة القوى

واذا أثرت قوة مرتكزة فى نقطة ا من جسم صلب (شكل ٣) فى الاتجاه اب فلا تتغير نتيجتها بانتقال نقطة ارتكازها الى ح أو الى ى من الجسم عينه موضوعة فى نفس الاتجاه وكذلك اذا نقل الارتكاز الى نقطة ر خارجة عن الجسم بشرط فرض ارتباطها بالجسم من غير تغير وبعبارة أخرى يمكن نقل نقطة ارتكاز القوة الى أى نقطة من اتجاه القوة بشرط فرض ارتباطها من غير تغير بالنقطة الاولى



ش ٣

١٢ — عدم تعلق فعل القوة بحركة الجسم — فعل القوة فى نقطة مادية لا يتعلق بحركة هذه النقطة التى اكتسبتها قبل تأثير القوة فيها فاذا أثرت قوة فى نقطة مادية ساكنة أكسبتها حركة تختلف باختلاف شدة القوة واتجاهها فاذا كانت النقطة المادية فى حركة وقت تأثير القوة فيها فان هذه الحركة تتحد بالحركة التى تنتج عن القوة لو أثرت وحدها والنقطة ساكنة والحركة الناتجة من هذا الاتحاد هى الحركة الحقيقية للنقطة المادية فى الوقت المقصود

١٣ — استقلال القوى المؤثرة معا فى نقطة مادية ثابتة — القوى المؤثرة معا فى نقطة مادية يستقل كل منها بعمله ومعنى ذلك أنه اذا أثرت عدة قوى فى آن واحد فى جسم فانها تحدث فى وضعه تغيرا هو الذى يحصل من تأثير كل من هذه القوى على حدته واحدة بعد أخرى وبعبارة أخرى ان كل واحدة من هذه القوى المؤثرة تحدث عين التأثير الذى تحدثه لو كانت منفردة وعلى ذلك فلمعرفة ما تحدثه عدة قوى فى جسم مدة معينة من الزمن يبحث عن الطريق الذى يتبعه هذا الجسم بتأثير احدى القوى ثم عن الطريق الذى يتبعه بعد ذلك بتأثير القوة الثانية ثم عن الذى يتبعه بتأثير الثالثة وهكذا فى منتهى الحال يحصل على الطريق الذى يتبعه الجسم بتأثير تلك القوى معا

١٤ — حفظ القوى وتكافؤها — لا يمكن القوة أن تظهر نتائجها فى شكل حركة الا اذا لم تكن ممنوعة بقوة أخرى تؤثر فى اتجاه مضاد لها فالجسم المتأثر بقوتين متضادتين متساويتين يكون ساكنا كما لو كان غير متأثر بشىء من القوى غير أن هاتين القوتين المتساقطتى الفعل قادرتان على أن تؤثرا ويمكن اظهار عمل احداهما بطرح الاخرى فيتحرك الجسم بتأثير القوة الباقية ويستفاد من ذلك أنه يمكن تمييز القوى الى قوى محدثة لحركة وقوى مائلة لأن تحدث

حركة ولكنها لاتصل الى ذلك لانها ممنوعة بقوة أخرى فالقوة المحدثة للحركة تسمى العاملة وعلامتها ل ئ س/م والتى تميل لأن تحدث حركة تسمى بالقوة العاطلة ومجموع القوة العاطلة والعاملة لايتغير وهذا هو قانون حفظ القوى ومفهومه أن القوة العاملة تستحيل الى قوة عاطلة وأن القوة العاطلة تستحيل الى عاملة وان مقدار ما يظهر من القوة العاطلة يساوى ما يختفى من العاملة بالاستحالة وبالعكس مقدار ما يظهر من القوة العاملة يساوى مقدار ما يختفى بالاستحالة من القوة العاطلة فاذا رفعنا ثقيل ساعة مثلا فاننا نبذل لرفعه كمية من القوة العاملة تنتقل الى هذا الثقيل على حالة قوة عاطلة كأنها اختزنت فيه لوقت الاستعمال فاذا سقط هذا الثقيل عاد ما فيه من القوة العاطلة الى عاملة وفى ابتداء سقوط هذا الثقيل تكون جميع القوة عاطلة ثم تستحيل شيأ فشيأ الى عاملة مدة سقوط الثقيل وفى انتهاء الحركة يكون جميع القوة العاطلة قد استحال الى عاملة وفى أى زمن من أزمان سقوط الثقيل يكون مجموع ما استحال من القوة العاطلة الى عاملة وما بقى مساويا للقوة العاملة التى بذلت فى رفعه واختزنت فيه على حالة قوة عاطلة ولم تنعدم القوة التى انتقلت الى الحالة العاملة بل كان جزء منها لمقاومة احتكاك الهواء وآخر لمقاومة احتكاك القطع المختلفة للساعة واحتكاك هذه القطع بعضها ببعض واحتكاك الهواء ببندول الساعة يحدثان حرارة وبذلك تبين أن العاملة المستعملة فى سقوط الثقيل استحالت الى قوى طبيعية أخرى

ولو أمكن قياس الحرارة المنتشرة مدة سير الساعة لوجدت كمية هذه الحرارة مساوية لكمية السعر اللازم لايجاد قوة قادرة على أن ترفع كتلة مساوية فى الوزن لوزن الثقيل المحرك للساعة ارتفاعا مساويا للمسافة التى قطعها الثقيل المحرك مدة سقوطه

. ومما ذكرناه يؤخذ أن القوى الطبيعية يستحيل بعضها الى بعض وان هذه الاستحالة تحصل بمقادير متكافئة فاذا فرضنا مثلا أن القوة القادرة على رفع كيلوجرام واحد لارتفاع ٤٢٤ مترا تولد باستحالتها الى حرارة كمية من الحرارة كافية لرفع حرارة كيلوجرام من الماء درجة واحدة فكمية الحرارة الكافية لرفع حرارة كيلوجرام من الماء درجة واحدة اذا استحالت الى قوة ميخانيكية تكون قادرة على رفع كيلوجرام مقدار ٤٢٤ مترا وهذا هو تكافؤ القوى

وقد دلت التجربة على أن القوى الميخانيكية والحرارة والضوء والكهربائية والتفاعلات الكيماوية وسائر القوى الطبيعية يمكن استحالة بعضها الى بعض فالاحتكاك والعمل الميخانيكى يستحيلان الى حرارة وفى الآلات البخارية يحصل العكس ففيها تستحيل الحرارة الى عمل ميخانيكى وتتولد الكهربائية باحتكاك جسمين وبالحرارة وبالتفاعلات الكيماوية

وقد

وقد تولد عملا ميخانيكيا وحرارة وتفاعلات كيماوية ومع البحث عن تعيين مكافئ كل من هذه القوى بالنسبة لاحداهن مأخوذة وحدة لم يعرف بالدقة الا المكافئ الميكانيكي للحرارة فقد دلت أبحاث العالم (جول) على أن كمية الحرارة اللازمة لرفع حرارة كيلوجرام من الماء درجة واحدة تولد باستحالتها الى عمل ميخانيكي قوة قادرة على أن ترفع ٤٢٤ كيلوجرام مترا و يفصح عن ذلك بان كل سعر يكافئ العمل الميخانيكي ٤٢٤ كيلوجرام مترو بالعكس العمل الميكانيكي لقوة ٤٢٤ كيلوجرام متر باستحالته الى حرارة يولد حرارة كافية لرفع حرارة كيلوجرام من الماء درجة واحدة وجميع القوى توجد أحيانا على حالة قوة عاطلة وأحيانا على حالة عاملة فالقوة الميكانيكية مثلا قد تحدث حركة وقد تنتقل الى الحالة العاطلة بحسب الاحوال وكذلك قد تصير الحرارة كامنة وهذا هو ما يحصل بتسخين أجسام سائلة أو صلبة فانها تبعد جزيئاتها فتكسبها توترا محسوسا بنقصان القوة العاملة ويظهر ما اختفى من الحرارة متى رجعت الجزيئات الى موضعها الاصلي والقوى الكيماوية تنحصر في جذب بين الذرات فان كانت هذه القوى عبارة عن ميل الذرات للاتحاد فهي عاطلة وتصير عاملة متى حصل الاتحاد وفي الذرات المنفردة والداخلة في متحدات قليلة الثبات قوة عاطلة ضعيفة أو شديدة أي فيها ميل لان تدخل في مركبات ثابتة فللاوكسيجين المنفرد قوة عاطلة هي المسماة بالميل للاتحاد بالاجسام القابلة للتأكسد وباتحاد الاوكسيجين تستحيل قوته العاطلة الى عاملة وهذه تظهر في حالة اتحاد الاوكسيجين بالايدروجين في صورة حرارة وضوء والماء لا يحتوي على قوة عاطلة محسوسة لانه مركب ثابت واذا أريد تحليله أي فصل عناصره وجب ايصال قوة عاملة غريبة اليه كالكهربائية مثلا فيكون متحصل التحليل وهو الاوكسيجين والايدروجين محتويا على ما وصل اليه من القوة العاملة لفصلهما في صورة قوة عاطلة

ولو وضع قانون حفظ القوى في صورة رياضية نرجع الى المثال السابق ذكره وهو حركة الساعة ونرمز للثقيل المحرك بالحرف و وللارتفاع الذي وصل اليه بالحرف ق فالناتج ق و هو العمل الذي فعل لرفع الثقيل للارتفاع ق وهو أيضا القوة العاملة التي صارت عاطلة برفع الثقيل فاذا فرضنا مسير الساعة ولاحظناها في وقت من الاوقات فان الثقيل بسقوطه يكون قد قطع المسافة ى مثلا ويكون الباقي من القوة العاطلة هـ وتبعا لقانون حفظ القوى يكون و ى + هـ = ق و .

واذا استبدلنا و ى و و ق بقيمتهما بالنسبة للقوة العاملة $\frac{ك\,س_{ى}^{٢}}{٢}$ و $\frac{ك\,س^{٢}}{٢}$ يحدث

$\frac{ك\,س_{ى}^{٢}}{٢} + هـ = \frac{ك\,س^{٢}}{٢}$ أي أن القوة العاملة التي صرفت زائد القوة العاطلة تساوي القوة

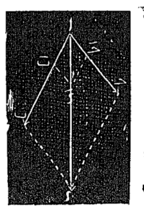
العاملة الواصلة للساعة قبل تحركها وهذه القوة الاخيرة ثابتة فى كل آلة فاذا رمزنا لها بالحرف ثا أمكن اخذ المعادلة الآتية بدل السابقة (لئ س٢ / ٢) + هـ = ثا

وهذه المعادلة ليست الا صورة رياضية لقانون حفظ القوى واذا اعتبرنا جميع القوى الموجودة فى العالم بدل الساعة أمكن تطبيق القانون السابق على عموم القوى فاذا فرضنا عدة كتل لئ و لئَ و لئً و لئًّ ... الخ متحركة بسرعة س و سَ و سً و سًّ ... الخ وفيها قوة كامنة هـ و هـَ و هـً و هـًّ ... الخ يكون (لئ س٢ / ٢ و لئَ سَ٢ / ٢ و لئً سً٢ / ٢ ... الخ) + (هـ و هـَ و هـً ... الخ) = ثا واذا أخذنا عن مجموع القوى العاملة العلامة لا (لئ س٢ / ٢) وعن القوة العاطلة العلامة لا (هـ) يحدث

لا (لئ س٢ / ٢) + لا (هـ) = ثا

١٥ — تركيب القوى المرتكزة فى نقطة واحدة — اذا ارتكزت عدة قوى فى نقطة مادية منعزلة فاما أن تكون اتجاهاتها وطرقها واحدة واما أن تكون اتجاهاتها متضادة مع اتحاد طرقها واما أن تكون مكونة لزاوية بينها وفى الاحوال الثلاث تستنتج نتيجة فعل القوى فى النقطة المادية من قاعدة استقلال القوى المؤثرة معا

ففيما اذا كان اتجاه القوتين المؤثرتين فى نقطة مادية وطريقهما واحدا تكون نتيجة فعلهما مساوية لمجموع نتيجة كل واحدة منهما معتبرة على حدتها واذا كان اتجاههما متضادا فالفعل الناتج يكون فى اتجاه أكبرهما ومساويا للفرق بينهما واذا كانت القوتان مكونتين لزاوية بينهما احداهما متجهة فى الاتجاه أب (شكل ٤) والاخرى فى الاتجاه اح فنتيجة فعلهما معا هو نقل النقطة المادية الى ى فان تأثير احدى القوتين وحدها ينقل النقطة ا الى ح وتأثير القوة الثانية ينقلها الى ب فاذا فرضنا أن القوتين أثرتا واحدة بعد أخرى فان النقطة المادية تقطع أولا الطريق اح ثم حى المساوى للطريق أب ويسهل معرفة الطريق الذى تسلكه النقطة المادية للوصول للنقطة ى بأن نقسم تأثير القوى



ش ٤

الى عدة تأثيرات جزئية فاذا فرضنا أن احدى القوتين نقلت فى وقت من الاوقات النقطة المادية الى النقطة حَ فالقوة الثانية تنقلها الى بَ فتأثير القوتين معا ينقل النقطة الى ىَ

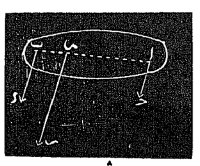
واذا

واذا بحثنا عن المحلات التى شغلتها النقطة المادية فى الازمان المتتابعة بعد ذلك نرى أن هذه المحلات هى خط مستقيم ا ء وهو قطر متوازى الاضلاع المرسوم على الخطين اح و اب وتسمى القوى المؤثرة فى الاتجاه اب و اح بالقوى المركبة ويمكن استبدالها بقوة تؤثر فى اتجاه الخط ا ء تسمى المحصّلة وقانون تركيب القوى المركبة هذا يسمى بقانون متوازى الاضلاع والخطوط اب و اح و ا ء تدل على كبر القوى المركبة والمحصلة وعلى اتجاهاتها وحينئذ فلا فرق من حيث النتيجة بين أن يكون الجسم متأثرا بقوة مساوية فى الكبر والاتجاه ا ء أو يكون متأثرا بالقوتين اب و اح معا فيمكن استبدال القوى المركبة بمحصلتها او المحصلة بما لها من القوى المركبة

واذا كانت النقطة المادية متأثرة بعدة قوى يبحث بالطريقة المتقدمة عن المحصلة لقوتين ثم يركب بالطريقة عينها هذه المحصلة مع قوة ثالثة فقطر متوازى الاضلاع الجديد الذى هو المحصلة للقوى الثلاث يركب مع قوة رابعة وهلم جرا الى أن تنتهى جميع القوى فالمحصلة الاخيرة تكون هى المحصلة لجميع القوى

ولما كانت الخطوط المستقيمة التى أقيمت لعمل متوازيات الاضلاع تركب شكلا كثير الاضلاع سميت هذه القاعدة الاخيرة قاعدة كثير الاضلاع للقوى ومن قاعدة تركيب القوى هذه يمكن تحليل قوة الى قوتين بل الى أكثر من ذلك بأن تعتبر القوة محصلة أولى من مركبتين ثم كل مركبة منهما محصلة لقوتين أخريين وهكذا

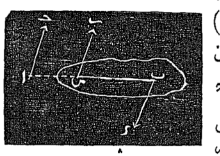
١٦ — تركيب القوى المرتكزة فى نقط مختلفة — اذا أثرت قوتان متوازيتان مرتكزتان فى نقطتين مختلفتين من جسم غير قابل للانثناء وكان اتجاههما واحدا كانت محصلتهما مساوية لمجموعهما وموازية لطريقهما ونقطة ارتكاز تلك المحصلة تقسم المسافة بين نقطتى ارتكاز القوتين المركبتين الى جزأين يكونان على العكس من القوتين فاذا فرضنا ح و ء من (شكل ٥) القوتين المتوازيتين المرتكزتين فى الجسم اب فان المحصلة م تكون مساوية لمجموع القوتين ح و ء وتقسم اب فى نقطة ارتكازها س بحيث يكون $\frac{\text{ب س}}{\text{ا س}} = \frac{\text{ح}}{\text{ء}}$ فاذا كانت القوتان غير متساويتين وكانتا مؤثرتين فى اتجاهين متضادين فمحصلتهما تكون مساوية للفرق بينهما وموازية لطريقهما



ش ٥

ويكون تأثيرها فى اتجاه الاكبر منهما ونقطة ارتكاز هذه المحصلة تكون فى الخط الواصل

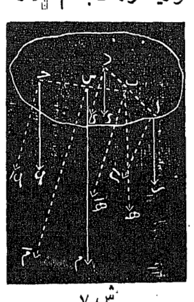
بين نقطتي ارتكاز القوتين بحيث تكون المسافة بينها وبين نقطتي ارتكاز القوتين المركبتين على العكس من شدتهما فاذا فرضنا ى و م من (شكل ٦) القوتين المتوازيتين مؤثرتين في اتجاهين متضادين ونقطتا ارتكازهما هما ب و س فالمحصلة ح تكون مساوية للفرق بينهما ومؤثرة في نقطة ا وهي نقطة تقسم الخط اب بحيث يكون $\frac{\text{اس}}{\text{اب}} = \frac{\text{سم}}{\text{بى}}$


ش ٦

واذا كانت القوتان متوازيتين متساويتين مؤثرتين في اتجاهين متضادين فالمحصلة معدومة وفي هذه الحالة يكون ما يسمى بالزوج وحيث لا يمكن موازنتهما بقوة منفردة ففعل هذا الزوج هو تحريك الجسم بحركة رحوية الى أن يصير طريق القوتين واحدا مع بقائهما في اتجاهين متضادين وكل زوج لا محصلة له لا يمكن جعله في موازنة بنقطة ثابتة منفردة بل لابد من نقطتين لمنع حركة دوران الجسم المؤثر به

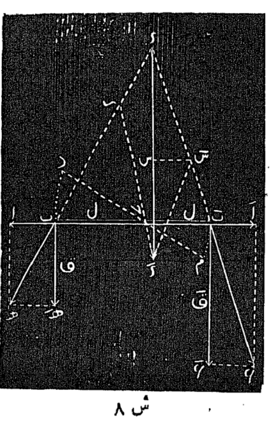
١٧ — مركز القوى المتوازية — اذا أثرت عدة قوى متوازية متحدة الاتجاه مرتكزة في نقط مختلفة من جسم واحد فلهذه القوى محصلة مساوية لمجموعها ويستدل على نقطة ارتكاز هذه المحصلة بأن يعين نقطة ارتكاز محصلة قوتين من هذه القوى ثم تركب مع المحصلة الاولى قوة ثالثة ويبحث عن محصلتهما ثم تركب مع هذه المحصلة قوة رابعة وتستخرج محصلتهما وهكذا فنقطة ارتكاز المحصلة الاخيرة تكون نقطة ارتكاز محصلة جميع هذه القوى

فاذا فرضنا ا و د و ح من (شكل ٧) ثلاث قوى متوازية مؤثرة في جسم ما وأردنا معرفة المحصلة لهذه القوى الثلاث بحثنا عن المحصلة هـ للقوتين ا و د وهذا يكون بقسمة اد بحيث تكون النسبة الآتية $\frac{\text{ا}}{\text{د}} = \frac{\text{بد}}{\text{اب}}$ ثم يمد خط يوصل نقطة ب وهي نقطة ارتكاز المحصلة هـ بالنقطة ح التي هي نقطة ارتكاز القوة الثالثة ح ويقسم هذا الخط بحيث تكون النسبة الآتية $\frac{\text{هـ}}{\text{ح}} = \frac{\text{سح}}{\text{بس}}$ فيحصل على نقطة س نقطة ارتكاز م وهي المحصلة العمومية واذا غير طرق القوى الثلاث مع بقائها متوازية فان المحصلة تمر من نقطة الارتكاز عينها بلا تغير وهذه النقطة تسمى بمركز القوى


ش ٧

المتوازية وتسمى بمركز الثقل في حالة التثاقل واذا فرض أن طريق القوتين مكونان لزاوية بينهما

بينهما كما هى الحالة فى (شكل ٨) بالنسبة لقوتى ب هـ و بَ ع اللتين يكون امتدادهما زاوية ب د بَ يحلل كل من هاتين القوتين الى ثنتين أخريين بحيث تكون اثنتان من المركبتين ا ب و اَ بَ متساويتين متضادتين موضوعتين فى امتداد الخط ب بَ والقوتان الباقيتان ب هَ و بَ عَ متوازيتين فمجموع هاتين الاخيرتين يساوى محصلة القوتين ب هـ و بَ ع وللحصول على هذه المحصلة تمد القوتين الى أن تتلاقيا ولتكن نقطة د نقطة التلاقى ولنفرض أن الخطين المستقيمين ب د و بَ د أعواد صلبة لا ثقل لها مرتبطة من غير تغير بالجسم فمن البين أن مثل هذه الاعواد لا تغير حركة الجسم المتأثر بالقوى



ش ٨

وقد علمنا (§ ١١) أنه يمكن نقل نقطة ارتكاز قوة الى أى نقطة فى طريقها من غير تغير فى حالة سكون وحركة الجسم بشرط أن تكون النقطة الثانية مرتبطة بالاولى من غير تغير فيجوز حينئذ نقل نقط ارتكاز القوى ب هـ و بَ ع الى نقطة تلاقى امتدادهما د وبهذه الكيفية تصير القوتان مرتكزتين فى نقطة واحدة وهذه مسئلة علمنا كيفية حلها (§ ١٥) واذن نأخذ د سَ مساويا بَ ع و د س مساويا ب هـ ونرسم متوازى الاضلاع للقوى فنحصل على المحصلة د دَ وهى تقابل ب بَ فى نقطة ح فهذه نقطة ارتكاز محصلة القوى ب هـ و بَ ع ونقول ان هذه المحصلة تساوى مجموع القوتين المتوازيتين ب هَ و بَ عَ ولاثبات ذلك نقيم من نقطة سَ الخط سَ س موازيا بَ ب فنحصل على المثلثين سَ د س و سَ دَ س مساويين بالترتيب للمثلثين ع بَ عَ و هـ ب هَ لمساواة ضلع وزاويتين مجاورتين فى كل من الاولين لضلع وزاويتين مجاورتين من نظيره من الأخرين وحينئذ يكون

$$د سَ = هَ ب \quad و \quad د س = بَ عَ$$

ومن هذه

$$د دَ = ب هَ + بَ عَ$$

١٨ — قياس القوى — يقال للقوتين متساويتان متى أثرتا فى جسم وأحدثتا نتائج متساوية فى أحوال واحدة ويقال للقوة ق انها ضعف أو ثلاثة أمثال الخ القوة قَ متى كانت هذه القوة ق تحدث نتائج مساوية لما تحدثه القوة قَ مثلين أو ثلاثة أمثال الخ وذلك بتأثيرها فى أحوال هى عين الاحوال التى أثرت فيها القوة قَ ويقال ان نسبة القوة ق الى قَ كنسبة م الى ن متى كانت القوة ق = م مرة القوة ف وأن قَ = ن مرة القوة ف

وقد دلت التجربة على امكان استبدال بعض القوى ببعض لاحداث نتائج واحدة فى حصول الحركة وأنه يمكن مقارنة كل قوة بأخرى ومقارنة جميعها بقوة تؤخذ أنموذجا للمقارنة وقد أخذ أصلا لهذه المقارنة تأثير الثقل فى جسم معين درجة حرارته معينة كذلك هو الديسمتر المكعب من الماء المقطر الذى فى درجة + ٤ وضغط ٧٦٠ مللمتر وبعبارة أخرى اخذ لقياس القوة وحدة هى الكيلوجرام والآلات المستعملة لقياس القوة هى الدينامومترات والموازين

١٩ — الدينامومترات — النتائج التى تحصل فى الدينامومترات بتأثير القوة وبها تقاس هذه القوة هى تغير فى زنبلك يختلف شكله باختلاف الدينامومتر فاذا تغير شكل الزنبلك بتأثير قوة بدرجة تغيره بتأثير وزن معلوم كانت القوة والوزن متساويين وكان هذا الوزن قياسا لهذه القوة

وقيمة القوة مقدرة بوحدة القوى أى بالكيلوجرام تسمى شدتها وأحد هذه الدينامومترات (شكل ٩) صفيحة من الصلب قابلة للانثناء فى هيئة الرقم الهندسى ٧ فى كل من طرفيها قوس معدنى يمر فى فتحة الطرف الآخر من الصفيحة وينتهى أحدهما بحلقة د يعلق منها الجهاز والآخر ينتهى بخطاف ه يعلق فيه الموزون أو تتكئ عليه القوة المراد مقارنتها فيعلق فى الخطاف وزن ثقله كيلوجرام ثم اثنان ثم ثلاثة وهكذا فتنثنى الصفيحة فى كل مرة فيخرج مقدار من القوس المتطرف م يختلف باختلاف هذا الثقل فيوضع عليه فى النقطة المقابلة للفتحة المار فيها القوس م الرقم ١ و ٢ و ٣ الخ بحسب ما علق فى الخطاف من الوزن وبذلك يكون الجهاز مدرجا فاذا أريد معرفة شدة قوة به علق الجهاز وأوصلت القوة بالخطاف فتنثنى الصفيحة فان كان هذا الانثناء يساوى ما يحصل من تأثير كيلوجرام أو اثنين أو ثلاثة الخ كانت شدة القوة ١ و ٢ و ٣ الخ

ش ٩

ومن الدينامومتر ما يكون فيه الزنبلك شكلا حلزونيا يرتكز أحد أطرافه على القاعدة العليا أ

من

من اسطوانة معدنية اب (شكل ١٠) منتهية بخطاف ه والطرف الآخر ينتهى بقرص مستو پ فى مركزه ساق يمر من محور الاسطوانة والحلزون وفى طرف هذا الساق حلقة يعلق منها الجهاز فبقدر شدة القوى المؤثرة فى الخطاف يخرج من هذا الساق كمية

ش ١٠

٣٠ — نسبة قوتين ثابتتين احداهما الى الاخرى — نسبة قوتين ثابتتين احداهما الى الاخرى كنسبة المعجلة التى تحدث من تأثير كل منهما فى جسم واحد ولبيان ذلك نعتبر قوتين ق و $\text{ق}'$ لهما قياس مشترك هو قوة ف بحيث يكون $\text{ق} = \text{ن}\,\text{ف}$ و $\text{ق}' = \text{ن}'\,\text{ف}$ فبهذا يكون $\frac{\text{ق}}{\text{ق}'} = \frac{\text{ن}}{\text{ن}'}$

فاذا أثرت القوة ف وحدها فى الجسم أحدثت معجلة يمكن فرضها ى فاذا أثرت ن قوى معا مساوية كل واحدة منهما ف كانت المعجلة أكبر أى مساوية $\text{ن}\,\text{ى}$ حيث ان تأثير كل واحدة منها غير متعلق بالاخرى وكذا اذا أثر $\text{ن}'$ قوى معا مساوية كل واحدة منها ف فالمعجلة تكون $\text{ن}'\,\text{ف}$ وحينئذ لو رمز للمعجلة التى تحدث من تأثير ق بالحرف هـ والتى تحدث من تأثير $\text{ق}'$ بالحرف $\text{هـ}'$ يكون $\text{هـ} = \text{ن}\,\text{ى}$ و $\text{هـ}' = \text{ن}'\,\text{ى}$ ومن ذلك $\frac{\text{هـ}}{\text{هـ}'} = \frac{\text{ن}}{\text{ن}'}$ وباستعاضة $\frac{\text{ن}}{\text{ن}'}$ بما ساواه يحدث $\frac{\text{ق}}{\text{ق}'} = \frac{\text{هـ}}{\text{هـ}'}$

٣١ — الكتلة — المعادلة السابقة يمكن كتابتها هكذا $\frac{\text{ق}}{\text{هـ}} = \frac{\text{ق}'}{\text{هـ}'}$ ومن الواضح أنه لو أثرت قوة ثالثة $\text{ق}''$ فى الجسم عينه لكانت نسبة هذه القوى الى معجلتها هى عين النسبة المتقدمة وحينئذ يكون بالنظر لجميع القوى المؤثرة فى جسم واحد

$$\frac{\text{ق}}{\text{هـ}} = \frac{\text{ق}'}{\text{هـ}'} = \frac{\text{ق}''}{\text{هـ}''} \ldots \text{الخ} = \text{ك}$$

فالقيمة ك فى هذه النسبة ثابتة وتسمى بكتلة الجسم وبالجملة يسمى بكتلة الجسم العدد الدال على النسبة بين قوة ما والمعجلة التى تحدث عنها

واذا اعتبرنا القوة التى تنشأ من تأثير الثقل فى الجسم أى وزنه غير منظور الى القوى التى يمكن أن تؤثر فيه ورمزنا للمعجلة التى تنشأ عن هذا الوزن بالحرف ع يكون $\frac{\text{و}}{\text{ع}} = \text{ك}$ وحينئذ يمكن أن يسمى بكتلة الجسم نسبة وزنه الى المعجلة التى تحدث من سقوطه بتأثير الثقل وحده واذا فرضنا $\text{ك} = $ واحدا يكون $\text{و} = \text{ع}$ ومعنى ذلك أن الوحدة المستعملة لقياس الكتل هى كتلة جسم يكون وزنه فى مكان معلوم معبرا عنه بوحدة الوزن والعدد الدال

على المجلة فى هذا المكان معبر عنه بوحدة الطول فالمجلة فى باريس مثلا ٩٫٨٠٨٨ متر فوحدة الكتل تكون ككتلة جسم يزن فى باريس ٩٫٨٠٨٨ كيلوجرام

٣٢ — الحركة — الجسم المتحرك هو الذى يشغل مواقع متتابعة مختلفة كالزمن والنقط المتتابعة التى يشغلها الجسم المتحرك تسمى طريقه والعلاقة الكائنة بين المسافات المقطوعة فى هذا الطريق والازمنة التى قطعها فيها تسمى معادلة الحركة والحركة اما منتظمة أو متغيرة

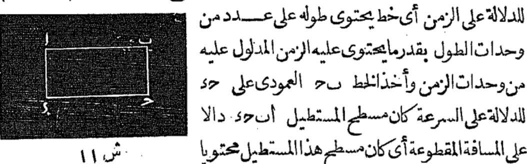
٣٣ — الحركة المنتظمة — هى حركة بها يقطع الجسم فى الازمنة المتساوية مسافات متساوية مهما كانت هذه الازمنة وعلى ذلك يمكن معرفة المسافة التى يقطعها جسم متحرك بحركة منتظمة فى زمن تا بمعرفة المسافة التى يقطعها هذا الجسم فى زمن معلوم

ويصير الجسم متحركا بحركة منتظمة متى منع عنه تأثير القوة المحركة له فيستمر فى حركته بقصوره الذاتى

وتسمى المسافة التى يقطعها الجسم فى زمن مساو للوحدة سرعة الحركة المنتظمة ووحدة الزمن المستعملة فى الغالب هى الثانية وعلى ذلك فيستدل على السرعة بوحدة الطول وهى المتر اذا كان هو المستعمل لقياس الطول ومن البين أن المسافة التى يقطعها الجسم المتحرك بحركة منتظمة هى ما يقطعه هذا الجسم فى ثانية مضروبا فى عدد الثوانى التى قطع فيها هذه المسافة أى هى سرعته مضروبة فى الزمن واذا فمعادلة قانون الحركة المنتظمة بعد الرمز للمسافة والسرعة والزمن على التعاقب بالحرف م و س و ن هى

$$م = س\, ن \quad \text{ومنها} \quad س = \frac{م}{ن} \quad , \quad ن = \frac{م}{س}$$

والاولى تسمى بمعادلة الحركة المنتظمة ومن هذه المعادلة يستنتج أنه لو أخذ حـ ء (شكل ١١) للدلالة على الزمن أى خط يحتوى طوله على عدد من وحدات الطول بقدر ما يحتوى عليه الزمن المدلول عليه من وحدات الزمن وأخذ الخط ب حـ العمودى على حـ ء للدلالة على السرعة كان مسطح المستطيل ا ب حـ ء دالا على المسافة المقطوعة أى كان مسطح هذا المستطيل محتويا على عدد من وحدات السطوح بقدر ما فى المسافة المقطوعة من وحدات الطول



ش ١١

٣٤ — الحركة المتغيرة — يقال للحركة انها متغيرة متى كانت المسافات المقطوعة بالجسم المتحرك فى أزمنة متساوية مختلفة فحالة الحركة تتغير من لحظة الى أخرى وسرعة الحركة المتغيرة

المتغيرة فى نقطة معينة هو الحد الذى ينتهى اليه نسبة المسافة الى الزمن الذى قطعت هذه المسافة فيه متى صغر هذا الزمن الى أن قارب الصفر ولبيان ذلك نعتبر مكانين على طريق جسم متحرك بحركة متغيرة ونفرض جسما ثانيا متحركا بحركة منتظمة يقطع المسافة بين المكانين المأخوذين على طريق الجسم الاول فى عين الزمن الذى يقطع فيه هذا الجسم تلك المسافة فمن البين أنه اذا تحرك الجسمان فى وقت واحد من مكان واحد فانهما يصلان الى المكان الثانى فى آن واحد كذلك وليس الامر كذلك فى وقت بين الابتداء والوصول فانهما حينئذ يكونان متباعدين فسرعة الحركة المنتظمة هذه تسمى بالسرعة المتوسطة للحركة المتغيرة فى الزمن المعتبر فاذا نقص هذا الزمن فان الاختلاف بين الحركة الحقيقية والحركة المنتظمة يأخذ فى النقصان واذا فرضنا أن الزمن أخذ فى النقصان الى الصفر فالسرعة المنتظمة المتوسطة تقرب الى قيمة نهائية هى سرعة الحركة المتغيرة فى النقطة المعينة

٣٥ — الحركة المنتظمة التغير — قد تتغير السرعة بكمية واحدة فى الازمنة المتساوية فتسمى منتظمة التغير وتسمى الحركة المنتظمة التغير منتظمة التقدم أو منتظمة القهقرة بحسب كون السرعة تزيد أو تنقص

وكمية تغير السرعة فى الثانية الواحدة أى فى وحدة الزمن تسمى بالمعجلة وتكون مماثلة للسرعة أو مخالفة لها بحسب كون الحركة منتظمة التقدم أو منتظمة القهقرة ففى المنتظمة التغير يكون ما يحصل من التغير مدة من الزمن متناسبا مع هذا الزمن

فاذا اعتبرنا متحركا ورمزنا لسرعته الابتدائية بالحرف ص أى لسرعته فى مبدا احتساب الزمن ن ورمزنا بالحرف هـ للمعجلة أى لتغير السرعة وهى كمية بها تتميز الحركة المتغيرة وبالحرف س للسرعة بعد مضى الزمن ن فيكون

$$\text{س} = \text{ص} \pm \text{هـ ن} \quad (1)$$

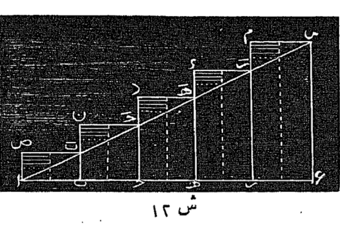
والعلامة (+) تقابل الحالة التى فيها الحركة متقدمة والعلامة (—) تقابل الحالة التى فيها تكون الحركة متقهقرة وفى هذه الحالة الاخيرة تنعدم السرعة متى صارت ص = هـ ن

وفى المعادلة (١) لو جعل ص = ٠ أى جعل مبدأ الحركة المتغيرة والجسم ساكن لصار

$$\text{س} = \text{هـ ن} \quad (2)$$

ومن ذلك يتبين أن السرعة المكتسبة بعد زمن بجسم متحرك منتقل من السكون الى الحركة تكون متناسبة مع هذا الزمن

وفى الحركة المنتظمة التقدم تكون المسافة المقطوعة بجسم متحرك منتقل من السكون متناسبة مع مربع الزمن ودستور هذا القانون هو م = ½ هـ ن² وهذه معادلة يتوصل اليها بطرق رياضية وتتصور بطريقة (جليليه) وهى أن يؤخذ الطول ا ع (شكل ١٢) دلالة على الزمن والطول ع س عموديا على ا ع دلالة على السرعة فى انتهاء هذا الزمن ويقسم الزمن ا ع الى أجزاء صغيرة متساوية ا ب و ا ح و ا هـ الخ فالسرعة المكتسبة بعد مضى الازمان المدلول عليها بالاطوال ا ب



ش ١٢

و ا ح و ا هـ الخ تؤخذ من الاحداثيات الرأسية ب بَ ح حَ هـ هَ الخ وهى متناسبة مع الزمن كما علمنا واذا فرضنا أن السرعة فى كل جزء من أجزاء الزمن تكون ثابتة ومساوية للتى لا تكون الا فى آخر جزء من أجزاء الزمن فالحركة تكون منتظمة والمسافات المقطوعة فى الازمنة ا ب و ا ح و ا هـ تكون مدلولة بسطوح المستطيلات ا ب بَ ص و ب ح حَ ن الخ والمسافة المقطوعة فى الزمن ا ع بمجموع مسطحات سطوح هذه المستطيلات وهو مجموع يختلف عن مسطح المثلث القائم الزاوية ا ع س بكل ما هو خارج عن الوتر ا س

ويستفاد بسهولة أنه بتقسيم الزمن ا ع الى أجزاء أكثر عددا مما قسم اليه قبل يكون الفرق بين مسطح المثلث ومجموع مسطحات المستطيلات قليلا ويقل هذا الفرق كلما كثر عدد أقسام الزمن ا ع الى أن تصير أجزاء الزمن صغيرة جدا فيصير الفرق غير محسوس أى متى صار تغير السرعة مستمرا يكون سطح المثلث دلالة على المسافة المقطوعة فى الزمن ا ع ومسطح هذا السطح هو ½ ا ع × ع س وحيث ان ا ع = ن و ع س = س (أى السرعة) وان ا س = هـ ن تكون المسافة المقطوعة هى م = ½ ن هـ ن = ½ هـ ن² ويستدل على هذا الدستور أيضا بالكيفية الآتية وهى أن يفرض انقسام الزمن ن الى أجزاء متساوية تكون صغيرة جدا حتى أنه يمكن مع صغرها اعتبار السرعة ثابتة تقريبا مدة كل جزء من أجزاء الزمن د وأن تغيرها لا يحصل الا بين كل جزء من أجزاء الزمن وما يتبعه ولنفرض ن عدد هذه الاجزاء بحيث يكون ن = ن د فيمكن معرفة المسافات المقطوعة مدة أجزاء

الزمن

الزمن المتوالية بواسطة معادلة الحركة المنتظمة بشرط أن يضاف الى السرعة بين كل جزء من أجزاء الزمن وما يتلوه الزيادة الثابتة $\text{ه}\,\text{ى}$ فيحصل

$$\text{ل}_{1} = \text{ص}\,\text{ى}$$

$$\text{ل}_{2} = (\text{ص} + \text{ه}\,\text{ى})\,\text{ى}$$

$$\text{ل}_{3} = (\text{ص} + 2\,\text{ه}\,\text{ى})\,\text{ى}$$

$$\text{ل}_{4} = (\text{ص} + 3\,\text{ه}\,\text{ى})\,\text{ى}$$

$$\vdots$$

$$\text{ل}_{\text{ن}} = [\text{ص} + (\text{ن} - 1)\,\text{ه}\,\text{ى}]\,\text{ى}$$

ومجموع $\text{ل}_{1} + \text{ل}_{2} + \text{ل}_{3} + \text{ل}_{4} + \ldots\ldots \text{ل}_{\text{ن}}$ ليس شيأ آخر غير المسافة م المقطوعة فى الزمن $\text{ن}\,\text{ى}$ واذا يكون $\text{م} = \text{ص}\,\text{ى} + \text{ص}\,\text{ى} + \text{ه}\,\text{ى}^{2} + \text{ص}\,\text{ى} + 2\,\text{ه}\,\text{ى}^{2} + \text{ص}\,\text{ى} + 3\,\text{ه}\,\text{ى}^{2} + \ldots\ldots \text{ص}\,\text{ى} + (\text{ن} - 1)\,\text{ه}\,\text{ى}^{2}$ وبجمع حدود هذه المتوالية العددية يحدث

$$\text{م} = \frac{(\text{ص}\,\text{ى} + \text{ص}\,\text{ى} + (\text{ن} - 1)\,\text{ه}\,\text{ى}^{2})\,\text{ن}}{2} = \text{ن}\,\text{ص}\,\text{ى} + \frac{(\text{ن}\,\text{ى} - \text{ى})\,\text{ن}\,\text{ى}\,\text{ه}}{2}$$

$$= \frac{\text{ه}}{2} \cdot \text{ن}\,\text{ى}\,(\text{ن}\,\text{ى} - \text{ى})$$

وحيث ان $\text{ن}\,\text{ى} = \text{ں}$ فاذا استبدل $\text{ن}\,\text{ى}$ بما ساواه يحدث $\text{م} = \frac{\text{ه}}{2} \cdot \text{ں}\,(\text{ں} - \text{ى})$ ومن هذه المعادلة يحصل على قيمة المسافة المقطوعة بالضبط كلما كانت قيمه ى صغيرة جدا فاذا تناهت قيمة ى فى الصغر حتى صارت معدومة كانت $\text{م} = \text{ص}\,\text{ں} + \frac{\text{ه}}{2}\,\text{ں}^{2}$ وهى الدستور المراد استخراجه

٣٦ — الرافعة — يسمى بهذا الاسم كل قضيب ذو مقاومة خطى منحن أو مستقيم مرتكز على نقطة تمنعه عن الانتقال الكلى ولا تمنعه عن التحرك حولها والقوة التى تلزم لمنع هذا الجسم من الانتقال تستنتج مما تقدم ذكره فان كانت القوى المحركة متوازية واتجاهاتها واحدة وجب أن تكون مقاومة نقطة اتكائها مساوية لمجموع القوتين وان كانت القوتان متوازيتين ولكنهما مختلفتا الاتجاه وجب أن تكون مقاومة نقطة الاتكاء مساوية للفرق بينهما ومتجهة فى اتجاه أصغرهما وان كانت القوتان مكونتين لزاوية كما فى (شكل ٨) وجب أن تكون مقاومة نقطة الاتكاء مساوية لمجموع القوتين المركبتين $\overline{\text{ب}\,\text{ه}}$ و $\overline{\text{ب}\,\text{ع}}$ واذا لم يكن القصد الا منع حركة انتقال الرافعة فليس من المهم اختيار نقطة دون غيرها للاتكاء

الرافعة عليها وليس الامر كذلك اذا قصد منع حركة الانتقال وحركة الدوران معا ففى هذه الحالة يلزم اتكاء الرافعة على النقطة ح التى تمر بها محصلة القوى المحركة فبوضع نقطة اتكاء الرافعة فى نقطة ما من الخط ب بَ غير التى تمر منها المحصلة للقوى المحركة تمتنع حركة انتقال الرافعة ولا يمتنع دورانها

وموضع النقطة ح من الخط ب بَ يتعلق بنسبة عظم القوتين المتوازيتين ب هـَ و بَ عَ ولتعيين هذه النقطة يلاحظ أن المثلثين د ح ب و ب هـَ هـ متشابهان وكذا المثلثان د ح بَ و بَ عَ ع واذن يكون

$$\frac{\text{هـهـ}'}{\text{بح}}=\frac{\text{بهـ}'}{\text{دد}'} \quad \text{و} \quad \frac{\text{عع}'}{\text{ب}'\text{ح}}=\frac{\text{ب}'\text{ع}'}{\text{دد}'}$$

واذا لاحظنا أن $\text{عع}'=\text{هـهـ}'$ بالوضع وجعلنا $\text{بهـ}'=\text{ن}$ و $\text{ب}'\text{ع}'=\text{ن}'$ و $\text{بح}=\text{ل}$ و $\text{ب}'\text{ح}=\text{ل}'$ يحدث

$$\frac{\text{ل}}{\text{هـهـ}'}=\frac{\text{دد}'}{\text{ن}} \quad \text{و} \quad \frac{\text{ل}'}{\text{هـهـ}'}=\frac{\text{دد}'}{\text{ن}'}$$

ومن الاولى يستخرج

$$\text{لن}=\text{هـهـ}'\times\text{دد}'$$

ومن الثانية يستخرج

$$\text{ل}'\text{ن}'=\text{هـهـ}'\times\text{دد}'$$

ومن هاتين الاخيرتين يحدث

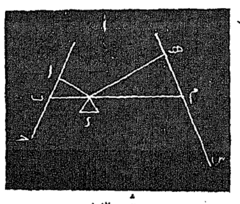
$$\text{لن}=\text{ل}'\text{ن}'$$

ومسافتا ل و لَ اللتان بين نقطة استناد الرافعة ونقطتى ارتكاز القوتين تسميان بذراعى الرافعة وعلى ذلك يمكن الافصاح عن القانون الذى دلت عليه المعادلة الاخيرة بأن الرافعة المتأثرة بقوتين متوازيتين محركتين لها فى اتجاهين متضادين لا تكون فى حالة موازنة الا اذا كان حاصل ضرب أحد ذراعى الرافعة فى القوة المقابلة له يساوى حاصل ضرب الذراع الآخر فى القوة المقابلة له وبعبارة أخرى الا اذا كانت القوتان على النسبة العكسية من ذراعى الرافعة ولا يصدق هذا القول الا اذا كانت القوى متوازية وكانت نقط ارتكازها ونقطة اتكاء الرافعة على خط مستقيم ولكنه يصير قانونا عموميا يصدق على الروافع المنحنية والمتعرجة المتأثرة بقوى متوازية وغير متوازية اذا اعتبرت عزة القوى فيصير منطوق هذا القانون أن

الرافعة

الرافعة المتاثرة بقوتين تحدثان فيها حركات دوران فى اتجاهين متضادين لاتصير متوازنة الا اذا كانت عزتا القوتين متساويتين

وعزة القوة اسم لحاصل ضرب القوة فى العمود الساقط من نقطة اتكاء الرافعة على الخط الدال على طريق القوة فحاصل ضرب القوة ب ح (شكل ١٣) بالعمودى اد الساقط من د التى هى نقطة اتكاء الرافعة على الخط ح ا وهو طريق القوة يسمى عزة القوة فتكون الرافعة فى توازن اذا كان ح ب × ا د = س م × ه د وجرى اصطلاح علماء الميخانيكا بتسمية احدى القوتين اللتين تميلان لأن تحدثا حركات فى اتجاهات متضادة موجبة والاخرى سالبة فتبعا لهذا الاصطلاح يكون منطوق قانون موازنة



ش ١٣

الروافع ان الرافعة يلزم لكونها فى موازنة أن يكون المجموع الجبرى لعزتى القوى معدوما وهذا المنطوق يصدق مهما كان عدد القوى وينبغى الدلالة على هذا القانون العمومى بهذه المعادلة الجبرية ق د + قَ دَ = ٠

دَ و د رمز للعمودين الساقطين من نقطة اتكاء الرافعة على طريق القوتين ق و قَ مع اعطاء احدى عزتى القوى علامة الزيادة والاخرى علامة النقصان

واذا لم يكن مجموع عزتى القوى معدوما فان الرافعة تتحرك فاذا فرضنا اختلال الموازنة بازدياد احدى القوتين بَ ء (شكل ٨) فان الطرف بَ للرافعة ينخفض الى أن يصير فى م مع كون الطرف ب يرتفع الى أن يصير فى د ونسبة القوتين بَ م و د م بعضهما الى بعض كنسبة ذراعى الرافعة المتقابلين ح ب و ح بَ الى بعضهما وفى ذلك دلالة على ان انتقال نقطة ارتكاز القوى عند اختلال الموازنة يكون بسرع نسبة بعضها الى بعض كنسبة أذرع الرافعة المقابلة لها ولا تعود الموازنة الا اذا كانت القوى على النسبة العكسية من المسافات بينها وبين نقطة اتكاء الرافعة واذا فالقوة التى تلزم لاختلال الموازنة تكون على العكس من ذراع الرافعة المرتكزة هذه القوة فيه ويستنتج من ذلك أن القوى التى تؤثر فى الذراع الاطول تكون أصغر وأن السرعة التى بها يحصل انتقال نقطة ارتكاز هذه القوة تكون أكبر فالقوة اح المؤثرة فى الذراع القصير تكون عظيمة فعزمها ينوب عن السرعة الضعيفة التى تكسبها الحركة نقطة ارتكازها فاذا فرضنا أن فى نقطة م (شكل ٨) ثقلا

يراد رفعه وفى نقطة د يدا تضغط على ذراع الرافعة ففى هذا الوضع تكون القوة اللازمة لاحداث الموازنة صغيرة وتكون أصغر كلما كان ذراع الرافعة المتأثر بالقوة أطول من ذراع الرافعة المتأثر بالثقل فاذا حصل فى ضغط اليد ازدياد ارتفع الثقل ولكى يرتفع من م الى بَ يلزم اليد أن تقطع المسافة من د الى ب ونسبة هذه الى المسافة م بَ كنسبة ب ح الى ح بَ واذا فرضنا أن الثقل موضوع فى ب واليد فى بَ يلزم أن تكون نسبة قوة اليد الى الثقل كالنسبة بين الذراع ب ح و ح بَ كى تحصل الموازنة واذا ازداد ضغط اليد ارتفع الثقل من ب الى د وانخفضت اليد من بَ الى م وفى الحالتين يرى انه اذا وضع الثقل فى الذراع القصير فالقوة اللازمة لرفعه تكون أصغر من ثقله ولكن المسافة التى يقطعها هذا الجسم تكون أصغر من المسافة التى تقطعها اليد وبالعكس اذا وضع الثقل فى الذراع الطويل فرفعه يحتاج الى تأثير قوة أعظم من ثقله تؤثر فى الذراع القصير ولكن المسافة التى يقطعها الثقل تكون أطول من المسافة التى تقطعها نقطة ارتكاز القوة المؤثرة فى الذراع القصير ولذلك كان من القواعد الاساسية فى علم الميكانيكا أن ما يكتسب فى القوة يخسر فى المسافة وما يكتسب فى المسافة يخسر فى القوة

٣٧ — أنواع الروافع — الروافع ثلاثة أنواع بحسب وضع نقطة اتكاء الرافعة بالنسبة لنقطتى تأثير القوتين المؤثرتين فيها واحدى هاتين القوتين تميز باسم القوة لانها تحدث تحركا فاذا قيل قوة قصد بذلك السبب المحرك للرافعة والذراع الذى تؤثر فيه يسمى بذراع القوة والثانية تميز باسم المقاومة لانها تقاوم تأثير القوة الاولى والذراع الذى تؤثر فيه يسمى بذراع المقاومة فالذراع ب ح (شكل ٨) المتأثر باليد يسمى بذراع القوة لوقوع تأثير القوة وهى اليد فى طرفه ب والذراع ح بَ يسمى بذراع المقاومة لان الثقل المؤثر فى بَ يقاوم تأثير القوة فاذا كانت نقطة اتكاء الرافعة متوسطة أى بين نقطة ارتكاز القوة ونقطة تأثير المقاومة فالرافعة من النوع الاول ومثالها الميزان المعتاد وميزان القبان وبكرة البئر ونحو ذلك واذا كانت المقاومة بين نقطة اتكاء الرافعة ونقطة ارتكاز القوة فالرافعة من النوع الثانى ومثالها المجل ومكسر البندق والمجداف وشبهها وفى هذه الرافعة تكون الفائدة للقوة لوقوع تأثيرها على ذراع أطول من الذراع المتأثر بالمقاومة

واذا كانت نقطة ارتكاز القوة بين نقطة اتكاء الرافعة ونقطة ارتكاز المقاومة فالرافعة من النوع الثالث ومثالها صمام الامن فى الآلات البخارية والملقاط والجفت وفى هذه الرافعة يكون الرجحان للمقاومة لوقوع تأثيرها فى ذراع أطول من الذراع المتأثر بالقوة

وفى

وفي تركيب بنية الانسان أمثـلة متعددة من الروافع غالبها من النوع الثالث فالعظام في البنية هي الاعواد الصلبة والعضلات بمنزلة القوى والمفاصل بمنزلة نقط الارتكاز

فعظم زند الانسان عند انثناء الساعد على العضد رافعة من النوع الثالث نقطة اتكائها المرفق واليـد هي المقاومة والعضلة العضدية ذات الرؤس الثـلاثة المؤثرة في الطرف العلوي لعظم الزند هي القوة وتحرك هذه الرافعة عسر لقرب نقطة الاتكاء من القوة ولذلك جعلت العضلة ذات ثلاثة رؤس لحمية لتكون بمنزلة ثلاث عضلات فتكون قوية وحركة انبساط الزند سريعة لانه رافعة طويلة نقطة اتكائها قريبة من مفصل المرفق

المقـــالة الثـانيـــة

مقـــــــدمة

٣٨ — طبيعة التثـاقل — يسمى بالتثاقل القوة التي بها تميـل الاجسام للسقوط نحو الارض

وسبب حركة الاجسام السماوية هو عين سبب سقوط الاجسام على سطح الارض فهذه القوة العموميـة سبب حركة العالم تسمى بالجذب العام وبالتثاقل العـام والتثاقل الارضي حالة خصوصية منه

ولا يتأتى نسبة التثاقل في المادة ذات الوزن الى قوة فيها تتحرك بها المـادة لان المـادة قاصرة فلا يمكنها أن تتحرك بنفسها وانمـا هو بنـاء على الآراء الحديثـة العهد نتيجة حركة ذرات الايتير المحيط بالمادة ذات الوزن من جميع الجهات وقرعها لها في كل لحظة ومن الظاهر أنه اذا كان هذا القرع غير متمـاثل حول جزء أو جسم فان الجسم يتحرك في اتجاه محصلة القرع الاكثر شدة وهذا يحصل متى تقابل الجسمـان فان عدم تساوي شدة القرع الواقع على الجسمين يكون متجها بكيفية بها يحصل تقارب هذين الجسمين

ويؤثر التثاقل بشدة واحدة في جميع الاجسام مهما كانت طبيعتها غير أن نتيجة هـذا التأثير تختلف خصوصا باختـلاف حالات المادة ولذلك نرى من الواجب تقسيم ظواهر التثاقل الى ثلاثة أقسام مقابلة لحالات الاجسام الثلاث موازنة الاجسام الصلبة وموازنة الاجسام السائلة وموازنة الاجسام الغازية

٣٩ — كمية الحركة والعمل والقوة العاملة — رأينا (§٢١) أن $\frac{ق}{هـ} = ك$ ومنها $ق = هـ\ ك$ ومن ذلك يؤخذ أن القوة تقاس بحاصل ضرب كتلة الجسم المؤثرة هى فيه بالعجلة التى تكسبها هذه القوة للجسم وحينما تكون القوة ثابتة تكون الحركة منتظمة العجلة ورأينا (§٢٣) أن فى مثل هذه الحركة يكون $س = هـ\ ز$ ومنها $هـ = \frac{س}{ز}$ وباستبدال هـ فى المعادلة (١) بما ساواها يحدث $ق\ ز = س\ ك$ (٢) فحاصل ضرب كتلة الجسم المتحرك فى سرعته $س\ ك$ بعد مضى الزمن ز يسمى بكمية الحركة

ونعلم أن المسافة المقطوعة فى الزمن ز بالقوة ق هى

$$م = \frac{١}{٢}\ هـ\ ز^{٢} \qquad (٣)$$

فباستبدال هـ بما ساواه $\frac{ق}{ك}$ مستخرجا من المعادلة (١) يحدث

$$م = \frac{١}{٢}\ \frac{ق}{ك}\ ز^{٢} \qquad (٤)$$

وبحذف ز من المعادلة (٢) و (٤) يحدث

$$م = \frac{١}{٢}\ \frac{ك\ س^{٢}}{ق} \quad \text{ومنها} \quad م\ ق = \frac{ك\ س^{٢}}{٢} \qquad (٥)$$

وتدل هذه العلاقة على أنه فى أى وقت من الحركة يكون حاصل ضرب شدة القوة الثابتة فى طول المسافة التى قطعها الجسم بتأثيرها فى اتجاهها من وقت الحركة مساويا لنصف حاصل ضرب كتلة الجسم فى مربع السرعة المتحرك بها الجسم فى الوقت المقصود

ويسمى فى علم الميكانيكا المتحصل $م\ ق$ أى حاصل ضرب القوة ق فى المسافة م التى قطعها الجسم فى اتجاه القوة بعمل القوة ويسمى بالقوة العاملة المتحصل $\frac{ك\ س^{٢}}{٢}$ أى نصف كتلة الجسم ك فى مربع السرعة المتحرك بها الجسم وإذن فالعلاقة بين العمل والقوة العاملة هى أن عمل القوة يساوى القوة العاملة

المطلب الاول

مايتعلق بالاجسام الصلبة

الخواص العمومية للاجسام الصلبة

٣٠ ــ التماسك والمرونة ــ الخاصتان المهمتان فى الاجسام الصلبة هما التماسك والمرونة فبالتماسك يكون لها شكل معين وبه لايمكن فصل بعض اجزائها عن بعض أو تغيير أشكالها الابمجهود وبالمرونة تميل الاجسام الصلبة لمقاومة كل سبب خارجى يحدث تغيرا فى شكلها وبها تعود الاجسام لاشكالها الاصلية متى زال السبب المغير لها ومجهود المرونة يساوى ويضاد شدة السبب المغير لشكل الجسم

وبأقل مجهود لازم لفصم الجسم تقاس قوة التماسك أى المتانة اذ يقصد بالمتانة حد منتهى مقاومة الجسم لفصمه وتختلف أنواع المتانة باختلاف طرق الفصم وتسمى مقاومة الفصم بالشد متانة محضة ومقاومة الفصم بالانثناء متانة نسبية ومقاومة التفتت صلابة وجميع أنواع المقاومة لاتنقاد لقانون واحد فالزجاج مثلا فيه مقاومة محضة أشد من التى فى الصمغ المرن ومقاومة الزجاج لفصمه بالثنى أقل بكثير من مقاومة الصمغ المرن

والمتانة المحضة هى المستعملة فى العادة لقياس قوة التماسك ولما كانت مقاومة الجسم للفصم بشده متناسبة مع قطاع هذا الجسم أخذ للدلالة على شدة التماسك الوزن اللازم لفصم الجسم حالة كون قطاعه مللمترمكعب وهذا يسمى عامل المتانة المحضة أو التماسك وتختلف شدة التماسك باختلاف الاجسام ففى الصلب المصهور تبلغ شدة التماسك ٨٤ كيلوجرام تقريبا وفى الرصاص تبلغ ٢ كيلوجرام وأشد الانسجة تماسكا العظام والاربطة ومتانة العضلات أقل من متانتهما وقد قدر (فرانسيم) تماسك بعض أنسجة الانسان فكانت فى العظام ٨,٠٠٠ كيلوجرام وفى الاوتار ٦,٢٥٠ كيلوجرام وفى الاعصاب ١,٣٥١ كيلوجرام وفى الاوردة ٠,١٨٥ كيلوجرام وفى الشرايين ٠,١٣٧ كيلوجرام وفى العضلات ٠,٠٤٥ كيلوجرام وذلك فى حالة الغضاضة ودلت أبحاث (فرانسيم) على أن التماسك يقل كلما تقدم السن اذ وجد تماسك عظم الشظية لرجل سنه ٣٠ سنة ١٥,٠٣ كيلوجرام ووجد تماسك العظم نفسه عند رجل بلغ سنه ٧٤ سنة ٤,٣٣٥ ووجد متانة

العضلة الخيطية عند طفل عمره سنة واحدة ١٫٧٠ وكانت عند رجل بلغ ٧٤ سنة ١٧٠٫٠ والجفاف يزيد أيضا متانة الانسجة كثيرا وقد بين (جليليه) أن القضبان المجوّفة تقاوم الانفصام بالثنى أكثر من القضبان المصمتة التى من مادتها وسطوح قطاعها العمودية متساوية ومن السهل فهم هذا الفرق النسبى لان القطر الخارجى يكون أعظم فى القضبان المجوّفة منه فى المصمتة فيكون ذراع الرافعة المرتكزة فيه المقاومة أطول ومع ذلك فهنالك حد نسبى لا يتعداه ازدياد القطر الخارجى والا قلت المقاومة اذ ترق جدر القضبان فتميل للانثناء والانعطاف وقد أبان (جيرار) أن مقاومة الاسطوانة المجوّفة تكون فى أعلى درجة متى كانت نسبة الشعاع الخارج الى الشعاع الداخل كنسبة ١١ الى ٥ ومن الظاهر أن القضيب الذى يكون فيه عدّة تجاويف طويلة يكون فيه أيضا مزايا الانابيب المجوّفة من حيثية المقاومة النسبية وبذلك يرى امكان ازدياد المقاومة النسبية لجسم من غير حصول ازدياد فى وزنه وبالعكس يمكن نقصان الوزن من غير نقص المقاومة وفى العالم أمثلة متعددة لهذه الاوضاع التى اصطحبت فيها الخفة والمقاومة فسيقان بعض النباتات وريش بعض العصافير والعظام الطويلة كلها عبارة عن أنابيب مجوّفة ومعظم قطع الهيكل العظمى ذو تجاويف وبذلك أمكن بكمية معينة من العظام ازدياد مقاومتها النسبية مع حصول اتساع فى سطوحها وهى محل اندغام العضلات

هذا ولمعرفة متانة الانسجة الحيوانية أهمية فى الطب العملى فكثيرا ما تطرأ أحوال يحتاج فيها الجرّاح والطبيب الشرعى الى معرفة القوّة الخارجة الممكن تأثيرها فى أجزاء الاجسام الصلبة أو الرخوة من غير خطر ومعرفة مقدار الاستطالة والانثناء الممكن حصوله فى هذه الاجزاء اذا أحدثت قوّة معلومة كسرا أو غيره

ومن معرفة عامل المتانة المحضة ك وقطر الجسم ط يمكن معرفة المقاومة قا التى تحصل فى فصم الجسم بالشد بهذه المعادلة

$$قا = ك ط$$

وقانون المقاومة النسبية أى المقاومة التى تحصل فى فصم قضيب بالثنى يكون طوله ل وعرضه ص وارتفاعه ع هو

$$ن = ك \frac{ص ع^{2}}{6 ل}$$

وفى هذه المعادلة ك عامل المتانة المحضة , ل طول القضيب وبالاخرى المسافة بين نقطة

ارتكاز

ارتكاز المقاومة ونقطة ارتكاز القوّة وإذا كان قطاع القضيب اسطوانيا كانت المعادلة المتقدمة هكذا $ق = ك \frac{ط س^{٣}}{٤ ل}$ س رمز لشعاع محيط الدائرة

٣١ — المرونة — هى ميل جزيئات الاجسام الى العود الى مواضعها متى امتنع عنها تأثير القوى الغريبة المغيرة لحالة موازنتها والقوّة التى بها يميل الجسم لأن يعود الى شكله وحجمه الاصليين تسمى قوّة المرونة وعلى ذلك كلما كان المجهود اللازم لتغيير شكل جسم عظيما كانت قوّة مرونته عظيمة وكلما استحكم عود الجسم الى شكله الاصلى كانت مرونته تامة

ولا علاقة بين قوّة المرونة ودرجة تماميتها فمن الاجسام ما تكون قوّة مرونته عظيمة ومرونته غير تامة وذلك كالفضة والرصاص ومنها ما مرونته تامة وقوّة مرونته قليلة وذلك كالصمغ المرن والعضلات والانسجة الوعائية ومنها ما تكون قوّة مرونته عظيمة ومرونته تامة وذلك كالصلب والزجاج

والمشهور عند الناس تسمية أجسام تامة المرونة قوّة مرونتها صغيرة كالصمغ المرن بكثيرة المرونة وهى تسمية غير ملائمة للاصطلاح داعية للالتباس اذ يراد من تسمية الجسم بكثير المرونة أنه يقبل الانثناء كثيرا من غير أن يفقد خاصة عوده الى شكله الاصلى

وأنواع المرونة متعددة بتعدد كيفية تغيير أشكال الاجسام فهنالك مرونة شدّ ومرونة ضغط ومرونة ثنى ومرونة لىّ ومهما كان نوع المرونة فقوّتها تقاس بكبر المجهود اللازم لاحداث تغير شكل الاجسام تغيرا معينا يكون واحدا فى جميع الاجسام بشرط أن يكون هذا التغير وقتيا وأما درجة تمامية المرونة فتقاس بكبر القوّة التى تلزم لاحداث تغير فى شكل الجسم تغيرا معينا بحيث لا يعود الجسم الى شكله الاصلى بعد زوال تأثير هذه القوّة عنه

وأهمّ قوانين مرونة الشدّ هو أن الاستطالة التى تحصل فى الجسم متى شدّ فى اتجاه طوله تكون متناسبة مع قوّة الشدّ فى حالة تساوى جميع أحوال التجربة ولا يكون هذا القانون محكما الا فى حدّ معين فاذا ازداد الثقل المحدث للشدّ وتعدّى حدا معينا فان الاستطالة تصير أقل من ازدياد الثقل بل ويشاهد هذا التفاوت فى الاجسام السهلة الانثناء كالصمغ المرن والعضلات والانسجة الوعائية وفضلا عن ذلك يشاهد فى العضلات أن قوة مرونتها تختلف بحسب كونها فى حالة انقباض أو انبساط فان قابلية انثناء العضلات تزداد بانقباضها وفى هذا شاهد على نقصان فى قوة مرونتها ودلت التجربة على أن قوة اللىّ متناسبة مع زاوية اللى أى أن مرونة اللى منقادة لنفس قانون مرونة الشدّ

ولمقارنة قوى مرونة الاجسام المختلفة بعضها ببعض يبحث عن الوزن اللازم لحصول كمية استطالة واحدة فى الاجسام متحدة الطول والقطر واتفقوا على أن المرونة تكون عدد وحدات الوزن اللازم لاستطالة جسم طوله يساوى الوحدة وقطره يساويها أيضا مقدارا يساوى الوحدة كذلك وهذا العدد يسمى عامل المرونة

ولا أهمية لاختيار وحدة للطول اذا لجسم يحتاج الى وزن واحد ليصير طوله ضعف ما كان سواء كان طوله مترا أو مللمتر لان القضيب الذى طوله متر هو عبارة عن قضيب مكون من ١٠٠٠ قضيب طول كل واحد منها مللمتر فاذا استطال قضيب طوله متر مترا آخر أى اذا صار طوله مترين كان كل متر من أجزائه قد استطال مللمترا آخر وليس الامر كذلك من حيث القطر لاننا اذا اعتبرنا قضيبين طولهما واحد وقطاع أحدهما مللمتر مربع والآخر سنتمتر مربع فلاستطالتهما بمقدار واحد يلزم تعليق ثقل فى الثانى يساوى ما يعلق فى الاول مائة مرة لان الثانى عبارة عن قضيب مركب من مائة قضيب قطاع كل واحد منها مللمتر ومن البين أنه اذا كان القضيب الذى قطاعه مللمتر مربع يحتاج الى كيلوجرام مثلا ليصير طوله ضعف ما كان فان مائة قضيب من هذه القضبان مجتمعة تحتاج الى مائة كيلوجرام كى تصير أطوالها ضعف ما كانت

فحينئذ يلزم فى تعيين عامل المرونة اختيار وحدة القطر ووحدة الوزن وجرت العادة بأن يؤخذ المللمتر المربع وحدة للقطر والكيلوجرام وحدة للوزن .

فاذا قيل ان عامل مرونة الصلب ١٨,٠٠٠ كان معنى ذلك أن طول سلك من الصلب قطاعه مللمتر مربع يصير ضعف ما كان بتأثير قوة شد فيه قيمتها ١٨,٠٠٠ كيلوجرام وفى العادة يتعسر حصول استطالة عظيمة كهذه لان معظم الاجسام تنفصم بتأثير أوزان أصغر مما يلزم لحصول استطالتها قدر طولها ومع ذلك فمن السهل معرفة عامل مرونة الشد من غير استعمال قوة كافية لحصول ازدواج فى طول الجسم وذلك بمعرفة قطاع الجسم وما يحصل فيه من الاستطالة بتأثير وزن معلوم حيث كانت الاستطالة متناسبة مع الوزن وقانون مرونة الشد محصور فى هذه المعادلة $ل = \frac{1}{أ} \cdot \frac{و ط}{ق}$ ل رمز لما يحصل فى الجسم الذى طوله ط وقطره ق من الاستطالة و لـ أ عامل المرونة

ويحتاج فى بعض الاحيان الى معرفة كمية تسمى عامل الاستطالة المرنة وهى الاستطالة التى تحصل فى جسم طوله يساوى الوحدة وقطاعه يساويها أيضا بتأثير وزن يساويها كذلك فاذا رمز لهذه الكمية بالحرف د كانت العلاقة الآتية $ل = د \frac{و ط}{ق}$

ودرجة

ودرجة تمامية المرونة تعين بالبحث عن الوزن اللازم لاحداث تغير ثابت يكون صغيرا جدا وهذا الوزن بعد ردّه الى وحدة القطر يسمى حدّ المرونة

وكل جسم استطال يزداد حجمه وبذلك تنقص كثافته لان ماينقص من قطر الجسم بالاستطالة أقل مما يحصل فيه من الاستطالة وقد رأى بعض المجربين أن نسبة مايحصل من الانقباض فى القطر الى الاستطالة هى $\frac{1}{4}$ وعلى رأى البعض $\frac{1}{3}$ وضغط الاجسام يزيد فى كثافتها لانه ينقص من حجمها ومن الاجسام ماينضغط بنفسه كظاهرة انقباض العضلات وفى هذه شوهد أيضا نقص قليل فى حجمها وهاك جدولا يشتمل على عامل المرونة وعامل الاستطالة لبعض المنسوجات التى دلت عليها ابحاث (فرانسيم)

	عامل المرونة	عامل الاستطالة
عظام	٢٣٠٤،٦٦٦	٠،٠٠٠٤٣٤
أوتار..............	٠١٦٣،٤١	٠،٠٠٦٢
أعصاب	٠٠١٨،٨٩	٠،٠٥٢٨
عضلات حية فى حالة سكون	٠٠٠٠،٩٥	١،٠٥٢٦
أوردة	٠٠٠٠،٨٦٣	١،١٥٨٧
شرايين..............	٠٠٠٠،٠٥٢	١٩،٢٣٠٨

ودلت أبحاث (ورتيم) على أن عامل مرونة الانسجة العضلية ينقص بانقباضها ودلت أبحاث (فرانسيم) على أن عامل مرونة العضلة التى ماتت من عهد قريب أو بعيد أقل من عامل مرونة العضلة من حيوان قتل وقت التجربة

٣٣ — اتجاه الثقل — كل جسم متى ترك وشأنه يسقط بتأثير التثاقل ويتبع فى سقوطه خطا مستقيما اتجاهه عمودى يسمى بالخط السمتى أو بالخط العمودى ولتعيين الخط السمتى المارّ من نقطة يعلق عليها خيط قابل للانثناء معلق فى طرفه جسم مّا (شكل ١٤) كقطعة من الرصاص مخروطية الشكل فهذا الخيط يأخذ بتأثير قوة الثقل المؤثرة فى الجسم اتجاه القوّة المؤثرة فيه أى الاتجاه العمودى ولذلك يسمى الخط السمتى باتجاه خيط الرصاص

ش ١٤

وقد أفادت التجربة أن الخط السمتى فى أىّ نقطة من نقط الارض يكون عموديا على سطح الماء الساكن وحيث انه لاشبهة فى كروية سطح المياه المغطية لمعظم الكرة الارضية فامتداد الخط السمتى لأى نقطة من نقط الارض يمر بمركز الكرة الارضية

ومن ذلك يعلم أن الخطوط السمتية غير متوازية بل بين كل خط وآخر زاوية تختلف على حسب المسافة الافقية الكائنة بين الخطين وكان عدم التوازى هذا مجهولا قبل الوقوف على كروية الارض ولا يكون عدم التوازى محسوسا الا اذا كانت المسافة الافقية بين الخطين السمتيين متسعة فسعة الزاوية المكونة من خطين سمتيين بعيد أحدهما عن الآخر بمسافة ٣٣٣ كيلومتر هى ٣° وتكون ١° اذا كانت المسافة ١١١ كيلومتر وتكون (١َ) دقيقة اذا كانت المسافة بينهما ١٨٦٠ متر ولا تكون الا ثانية واحدة (١ً) اذا كانت المسافة ٣١ متر واذا اعتبرنا خطين سمتيين أو أكثر لاجسام موجودة فى مكان واحد كقاعة مثلا كانت الزاوية غير محسوسة أى كانت هذه الخطوط متوازية ومن باب أولى أن تكون الخطوط السمتية لجزيئات جسم واحد متوازية

٣٣ — محصلة قوى التثاقل ووزن الجسم — للقوى المتوازية المتجهة اتجاها واحدا المؤثرة فى النقط المختلفة من جسم محصلة موازية لها متجهة اتجاهها ومساوية فى الشدة لمجموعها وحينئذ فلقوى التثاقل المؤثرة فى النقط المختلفة من جسم واحد محصلة عمودية متجهة من أعلى الى أسفل ومساوية لمجموع قوى التثاقل المؤثرة فى جميع جزيئات الجسم وتسمى هذه المحصلة وزن الجسم وعلى ذلك فوزن الجسم هو محصلة التأثيرات الجزيئية للتثاقل

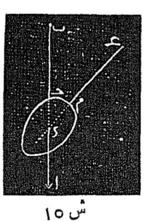
٣٤ — مركز الثقل — لمحصلة مجموع القوى المتوازية خاصة هى أنها تمر بنقطة ثابتة لا تتغير مهما كان اتجاه هذه القوى بالنسبة للجسم بشرط بقاء هذه القوى موازيا بعضها البعض وبقاء النسبة التى كانت بين شدتها وهذه النقطة تسمى بمركز القوى المتوازية وتسمى فى حالة تأثير القوى الجزيئية للتثاقل فى النقط المختلفة لجسم واحد بمركز الثقل فمركز الثقل لجسم هو نقطة يمر منها دائما محصلة قوى التثاقل المؤثرة فيه مهما كان وضعه فى الفضاء وفى أى نقطة من نقط الارض ولمعرفة مركز الثقل أهمية فى حل المسائل التى لتأثير التثاقل دخل فيها اذ يمكن فى كل جسم أخذ المحصلة العمودية أى وزنه واعتبارها مرتكزة فى مركز ثقله بدل القوى الجزيئية للجسم المرتكزة فى النقط المختلفة منه

٣٥ — تعيين مركز الثقل — متى كان الجسم متجانسا أى متى كان وزن أجزائه المختلفة واحدا مع تساوى حجومها منتهيا بسطوح هندسية محددة فعلم الميكانيكا يرشد الى القواعد التى بها يتعين مركز ثقله

ومن الاحوال ما يتعين فيها مركز الثقل بسهولة فان كان للجسم مركز شكل كان هذا المركز مركز الثقل أيضا فمركز الكرة هو أيضا مركز شكلها ومركز المربع والمستطيل ومتوازى الاضلاع

نقط تلاقى أقطارها ومركز ثقل الاسطوانة القائمة ذات القاعدة المستديرة والمنشور المنتظم فى وسط محورها ومركز الجسم الهرمى الشكل والمخروطى فى ربع الخط الواصل بين قمة الجسم وبين مركز شكل السطح المكوّن للقاعدة ولا يكون مركز الثقل فى داخل الجسم دائما بل قد يكون خارجا عن المادة بالكلية وذلك كمركز الثقل لحلقة فانه فى مركز شكلها

ومهما كان شكل ونسيج الجسم الصلب فيمكن تعيين مركز ثقله بأن يبحث عن اتجاه خطين من خطوط الثقل فنقطة تقاطعهما هى النقطة المطلوبة ولذلك يعلق الجسم من احدى نقط سطحه نقطة ح مثلا (شكل ١٥) فى خيط قابل للثنى ح ب فتى حصلت الموازنة كان الخيط فى اتجاه القوّة ا المؤثرة فى الجسم فاذا مدّ الخيط فى اتجاهه داخل الجسم فانه يمر من مركز الثقل فاذا علق الجسم ثانية من نقطة م ومد الخيط فى اتجاه ع م داخل الجسم فان كلا الامتدادين يمرّ بمركز الثقل ويتقاطعان فيه فنقطة تقاطعهما ى هى مركز الثقل المطلوب وقد أرشدت أبحاث (ويبر) أن مركز ثقل الانسان فى داخل القناة النخاعية للعمود الفقرى بقرب الحافة العليا للفقرة الثانية القطنية وفى كل عضو على حدته تكون أقرب الى الطرف العلوى منها الى السفلى



ش ١٥

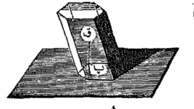
٣٦ — موازنة الاجسام — حيث كان من الممكن دائما الدلالة على تأثير التثاقل فى الجسم بمحصلة مساوية لوزنه عمودية مرتكزة فى مركز ثقله فيكفى لموازنة هذا الجسم مقارنة هذه المحصلة بقوة مساوية ومضادّة لها فى الاتجاه ومرتكزة فى نقطة ارتكازها وهذا يحصل بحمل مركز ثقل الجسم بخيط أو بمحور أو بسطح

فاذا كان مركز الثقل محمولا بخيط فلا تحصل موازنة الجسم الا اذا كان الخيط عموديا ومركز الثقل فى امتداده واذا كان مركز ثقل الجسم محمولا بمحور أفقى أمكن دوران الجسم حوله فلا تحصل الموازنة الا اذا كان العمودى لمركز الثقل يمر بهذا المحور ومن ذلك ثلاثة أنواع من الموازنة موازنة متعادلة أو مستمرة وموازنة ثابتة وموازنة غير ثابتة

فالموازنة تكون متعادلة اذا كان المحور يمر بمركز الثقل لانه على أى وضع يكون الجسم فان مركز الثقل ونقطة اتكاء الجسم يكونان متفقين وتكون مستمرة اذا كان مركز الثقل أسفل نقطة التعليق لان الجسم اذا غير عن وضعه عاد اليه ثانيا بعد أن يفعل عدة تذبذبات شبيهة بما يحصل من البندول

وتكون غير ثابتة اذا كان مركز الثقل أعلى نقطة التعليق لانه اذا غير وضع الجسم زالت

ولاتعود اليه كما كانت وفيما اذا كان الجسم موضوعا على سطح يتفق أنه لا يلامس هذا السطح الا بنقطة واحدة من نقطه وذلك كالكرة الموضوعة على تختة فمن أجل أن يكون هذا الجسم فى موازنة يلزم أن العمود المار بمركز الثقل يمر من نقطة تلامس هذا الجسم والسطح



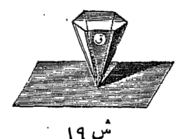
ش ١٦

فاذا كان الجسم ملامسا السطح من عدة نقط (شكل ١٦) فيلزم لكون الجسم فى موازنة أن يسقط العمودى المار من مركز الثقل فى السطح الكثير الاضلاع المتكون من توصيل نقط الملامسة اثنتين اثنتين وهذا السطح يسمى بالقاعدة

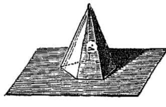
والجسم الموضوع على سطح يكون فى احدى حالات الموازنة الثلاث فى موازنة متعادلة اذا كان مركز ثقله لا يرتفع ولا ينخفض بتغيير وضعه على هذا السطح ومثال ذلك كرة متجانسة موضوعة على سطح (شكل ١٧)

وفى موازنة مستمرة اذا كان على وضع بحيث يكون مركز ثقله أسفل منه فى الاوضاع الاخر ومثال ذلك الجسم الهرمى الشكل الموضوع بقاعدة على سطح (شكل ١٨)

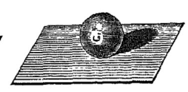
وفى موازنة غير ثابتة اذا كان فى وضع فيه مركز ثقله أعلى منه فى الاوضاع الاخر ومثال ذلك جسم هرمى الشكل موضوع على سطح بقمته (شكل ١٩)



ش ١٩



ش ١٨



ش ١٧

وبالجملة فمتى كان الجسم مرتكزا على سطح فانه يكون أعظم ثباتا كلما كان مركز ثقله أسفل وكلما كانت قاعدته أوسع

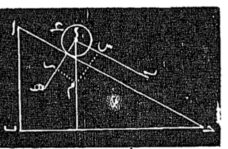
سقوط الاجسام

٣٧ – سقوط الاجسام فى الفراغ – بسقوط أجسام مختلفة فى الهواء يشاهد فى معظم الاحيان أنها تقطع مسافات متساوية فى أزمنة مختلفة فالقطعة من الحجر تصل الى الارض فى وقت أقل مما تصل فيه قطعة من الورق تسقط من مثل الارتفاع الذى سقطت منه قطعة الحجر وقطعة الورق نفسها اذا كانت مطوية فى هيئة كرة تسقط فى وقت أقرب منه اذا كانت منشورة

ومن هـذا المثال الاخير يتبين أن اختلاف سرعة سقوط الاجسام فى الهواء ليس ناتجا عن اختلاف أوزانها فان وزن الورقة منشورة هو عين وزنها مطوية

وقد أثبت (جليليه) بتجاربه أن الفرق الذى يشاهد فى سقوط الاجسام من ارتفاع واحد فى الهواء متسبب عن مقاومة الهواء ووضع قانونا هو أن جميع الاجسام الساقطة فى الفراغ تحتاج الى أزمنة متساوية لتسقط من ارتفاع واحد أى ان الاجسام الساقطة فى الفراغ تقطع فى الازمنة الواحدة مسافات متساوية من بدء الحركة ولا تأثير لطبيعة المادة ولا ثقلها ولا اختلافها وزنا وكثافة ولاثبات هـذا القانون بطريقة عمليـة تستعمل أنبوبة من بلور طولها متران تقريبا يسد طرفاها بسدادين من نحاس قد ركب فى احدهما حنفية ويدخل فى هـذه الانبوبة قطع من أجسام مختلفة كخردق الرصاص وقطع من الفلين والورق وزغب الريش ثم تركب هذه الانبوبة على الآلة المفرغة ومتى عمل الفراغ فيها تقفل الحنفية وترفع الانبوبة ثم تنكس دفعة واحدة بحيث يصير طرفها السفلى علويا فيشاهد سقوط ما فيها فى آن واحد واذا فتحت الحنفية قليلا بحيث يدخل فيها قليل من الهواء فانه يشاهد سقوط بعض هذه القطع عقب بعض فاذا فتحت عن آخرها كان سقوط هذه القطع فى الانبوبة كسقوطها وهى فى الهواء المطلق

٣٨ — قوانين السرعة والمسافة — التثاقل قوة مستمرة واذا فالحركة الناتجة عنه حركة منتظمة العجلة وقد دلت القوانين المنقادة لها هـذه الحركة على أن السرعة المكتسبة لجسم ساقط سقوطا مطلقا مدة $ن$ ثوانى هى $س = ع ن$ وان المسافة المقطوعة فى هذا الزمن هى $م = \frac{1}{2} ع ن^2$ بمعنى أن السرعة المكتسبة متناسبة مع الزمن وان المسافة المقطوعة متناسبة مع مربع الزمن ولتحقيق هذين القانونين تقاس مسافات يقطعها الجسم فى أزمنة متعاقبة غير أن احكام هذا القياس لا يتأتى اذا كان الجسم ساقطا سقوطا مطلقا بسبب سرعة هـذا السقوط ولذلك تستعمل عدة وسائط أهمها السطح المائل وآلة (أتود) وجهاز (مورن)



ش ٢٠

٣٩ — السطح المائل — هو سطح يكوّن مع الافق زاوية وليست سرعـة حركة الاجسام المتحركة عليـه كسرعة حركة سـقوطها المطلق ولبيان ذلك نفرض جسما موضوعا على سطح مائل اح (شكل ٢٠) فهذا الجسم بتأثير التثاقل فيه يسقط بسرعة أعظم كلما كانت زاوية الميل ب ح ا المتكوّنة من هذا السطح والافق أوسع

لان هـذا الجسم لو كان مطلق الحركة لتبع فى سقوطه الطريق العمودية دم ولكنه لوجود السطح المائل اح لا يقدر أن يتحرك الافقى الاتجاه اح ولمعرفة مقدار القوة التى تحدث هذه الحركة تحلل القوة المؤثرة فى مركز الثقل د وهى وزن الجسم الى دں عموديا على السطح المائل و د س موازية له متبعا فى ذلك قاعدة متوازى الاضلاع ومن البين أن الجسم لا يمكنه أن يتحرك فى اتجاه القوة د ں فهى اذا معـدومة بمقاومة السطح وعملها انما هو ضغط الجسم على هذا السطح وأما القوة د س فهى التى بها يسقط الجسم فى الاتجاه ا ح وحيث ان المثلث د س م قائم الزاوية يكون د س = د م × جا د م س ونلاحظ أن دم ليس شيأ آخر غير وزن الجسم و وان زاوية دمس تساوى زاوية ح لكون دم عموديا على ب ح و س م عموديا على اح فباستبدال دم و دم س فى المعادلة السابقـة بما ساواهما تصير د س = و جا ح (١)

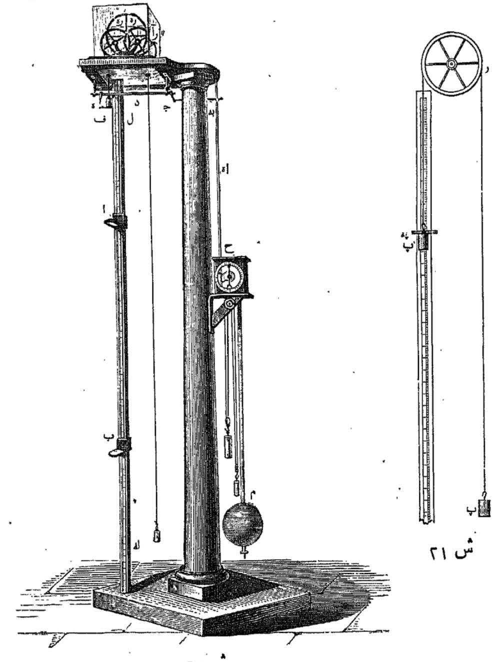
ومن هذه المعادلة يتضح ان القوة التى تؤثر فى سقوط جسم على سطح مائل تتعلق بزاوية ميل هـذا السطح فان صار جيب الزاوية ح مساويا للوحدة وهذا يحصل متى كان اح عموديا على حب فان القوة التى بها يسقط الجسم تكون مساوية لوزنه أى يكون سقوطه فى هـذه الحالة مطلقا وبمقابلة المثلثين المتشابهين د م س و ا ح ب بعضهما ببعض يتحصل على المعادلة الآتية اح / اب = دم / دس (٢)

ومن هذه المعـادلة يتبين ان نسبة المسافة التى يقطعها الجسم فى سقوطه على السطح المائل الى المسافة التى يقطعها فى سقوطه المطلق كنسبة القوة المؤثرة فى سقوطه المطلق الى القوة المؤثرة فى سقوطه على السطح المـائل فيستنتج من ذلك أن السرعة المكتسبة للجسم بعد قطعه المسافة اح تكون مساوية للسرعة المكتسبة بعد سقوطه المطلق من ا الى ب لانه وان كانت القوة التى بها يسـقط الجسم موازيا للسطح اح صغيرة من جهة فانها من جهة أخرى أثرت مسافة طويلة

وبالجملة فان للجسم الساقط من ارتفاع معلوم بتأثير التثاقل سرعة مكتسبة واحـدة أيا كانت المسافة التى قطعها ومن المعادلة (٢) يتبين أن نسبة القوة ں التى بها يسقط الجسم على السطح المائل الى وزنه و كارتفاع السطح المـائل الى طوله فاذا صغر ارتفاع السطح مرتين أو ثلاثا أو أربعـا الخ كانت قوة سـقوط الجسم أصـغر من وزنه مرتين أو ثلاثا أو اربعا الخ ولا ينبنى على ذلك تغـير فى قوانين السقوط فان القوة ں من طبيعة التثاقل وهى جزء منـه وبذلك يمكن تثبيط سرعة الجسم بتصغير ارتفاع السطح المائل وقياس المسافة المقطوعة فى ثانية واثنتين

واثنتين وثلاث الخ فيشاهدان نسبة المسافات المقطوعة بعضها الى بعض كنسبة ١ الى ٤ الى ٩ أى ان م $=\frac{1}{2}$ حا ح ع ن^{2} ومن هذه المعادلة يستدل على أن س $=$ حا ح ع ن

٤٠ ـــ تحقيق قانون سقوط الاجسام بآلة (أوتد) ـ بهذه الآلة يحقق قانون السرعة وقانون المسافة وهى مركبة من بكرة خفيفة جدا ر كما فى (شكل ٢١) يمر عليها خيط من الحرير فى غاية الخفة بطرفيه وزنان پ و پ وتوضع هذه البكرة بكيفية بها لا تحدث حركتها حول محورها الا احتكاكا غير محسوس كما فى (شكل ٢٢) وعلى أى وضع كان



ش ٢١

ش ٢٢

الثقلان پ و پ فانهما يكونان فى حالة موازنة فاذا وضع وزن اضافى په على أحد

الاوزان پ الثقل الذي جهة اليسار مثلا فان الحركة تحصل وحيث كان الوزن به وحده هو المحدث للحركة وبتأثيره يتحرك الوزنان پ و پ فمن البين أن الحركة تكون أبطأ من حركة السقوط المطلق للثقلين پ و پ ولتحقيق قانون المسافات المقطوعة في الازمنة المتعاقبة تستعمل مسطرة مدرجة موضوعة وضعا رأسيا أمامها يسقط الثقل پ + به فيوقف هذا الثقل أمام صفر المسطرة مرتكزا على رافعة متصلة بساعة في الجهاز ويسقط متى ابتدأت ثانية معينة يعرف ابتداؤها بدق الساعة ثم يبحث بالاستقراء عن النقطة من المسطرة التي يلزم وضع قرص افقي پ (شكل ٢٢) ينزلق عليها بافريز حتى يسمع ملامسة الثقل الساقط له مع دق الساعة الدال على انتهاء الثانية فعدد التقاسيم الكائنة بين صفر المسطرة وموضع القرص هي المسافة المقطوعة بالثقل في ثانية واحدة ولا يزال القرص ينقل من موضع الى آخر (شكل ٢٣) حتى تعلم المسافة المقطوعة في ثانيتين وثلاث وهكذا وبمقارنة المسافات بعضها ببعض يتبين أن نسبتها الى بعضها كنسبة الاعداد ١ و ٤ و ٩ بعضها الى بعض أي انها كمربع الزمن وهذا هو قانون المسافة ولتحقيق قانون السرعة المكتسبة في الاوقات المختلفة من الحركة يستعمل قرص ذو افريز يخالف الاول في كونه مثقوبا يسمح بمرور الوزن منه من غير أن يلامسه ويعوق سير الثقل به لطول شكله بأن يوضع هذا القرص على المسافة التي يقطعها الثقل پ + به في الثانية الاولى وبعد مضي هذه الثانية يمنع القرص المثقوب الثقل به من المرور ويمر پ وحده بحركة منتظمة بالسرعة التي كانت فيه وقت وقوف الثقل به من الحركة بالقرص المثقوب ويبحث بالاستقراء عن النقطة من المسطرة التي يلزم وضع القرص المصمت پ فيها حتى يسمع صوت مصادمة الثقل له في انتهاء ثانية بعد ايقاف الثقل به والمسافة بين ا و پ هي المسافة المقطوعة في ثانية واحدة بحركة منتظمة بعد ايقاف الثقل به أي السرعة التي اكتسبها الثقل پ بوصوله الى ا وحفظها من ا الى پ

ش ٢٣

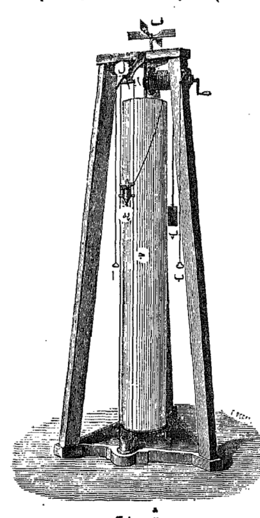
ولتكن س هذه السرعة ويبحث بالطريقة عينها عن السرعة سَ سً الخ المكتسبة بعد مضي ثانيتين وثلاث وهكذا فيتبين أن نسبة السرعة س و سَ و سً الخ بعضها الى بعض كالعدد ١ و ٢ و ٣ أي أنها متناسبة مع الزمن وهذا هو قانون السرعة

وليكون

وليكون فى بكرة الة (أتود) المار عليها خيط الحرير الحامل للثقلين حركة سريعة يوضع كل طرف من أطراف محور البكرة على زاوية تقاطع بكرتين لان الحركة السريعة للبكرة ر تحدث فى البكرات الاخر ره و ره حركة بطيئة بسببها يكون الاحتكاك فى محل تصالها خفيفا

ويوجد فى هذه الآلة ساعة تدل على الثوانى متصلة برافعة يتكئ الثقل پ + په على أحد ذراعيها هـ صنعت بكيفية بها يفارق هذا الذراع الثقل فى ابتداء الثانية الاولى فيصير الثقل پ + په موكولا لنفسه فيسقط

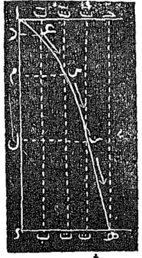
٤١ – جهاز مورن – هذا الجهاز (شكل ٢٤) يتركب من اسطوانة من الخشب ح تتحرك حول محور رأسى غطى سطحها بقطعة من الورق رسم عليها عدة خطوط رأسية متساوية البعد ومن ثقل پ معلق بحبل يلتف على ملف صغير أفقى ذى عجلة مسننة متداخلة بقلاووظ فى محور الاسطوانة ح قد ركب على هذا المحور أربعة أجنحة طاحون ف ومن ثقل اسطوانى مخروطى په يتأتى سقوطه سقوطا مطلقا يحمل قلما من رصاص موضوعا وضعا أفقيا تتكئ أسلته قليلا على الورق الملفوف على الاسطوانة بحيث يغادر بمروره عليه أثرا ثابتا ومن رافعة ل تحفظ هذا الثقل فى الجزء العلوى من الجهاز فمتى كان الوزن په فى الجزء العلوى من الجهاز جذب الحبل ب فيصير الثقل پ مطلق الحركة فيسقط وبسقوطه



ش ٢٤

تتحرك عجلة فتتحرك الاسطوانة ح وأجنحة الطاحون ف وبمقاومة هذه الاجنحة للهواء مقاومة آخذة فى الازدياد تصير حركة الاسطوانة منتظمة وحينئذ يجذب الحبل ا فيصير الثقل په مطلق الحركة فيسقط ملامسا للاسطوانة بالقلم الرصاصى المرتبط به فيغادر هذا القلم أثرا على الورق

ومتى وصل الثقل به الى منتهى سقوطه نشر الورق فيشاهد فيه أن الخط اهـ (شكل ٢٥) وهو أثر القلم على الورق تقاطع مع الخطوط العمودية المتساوية البعد أ ى و ب بَ و تَ ثَ الخ في النقط ء و س و م و هـ واذا أقيم من هذه النقط خطوط عمودية على الخط أ ى وأخذ وحدة للزمن الزمن اللازم فى الحركة المنتظمة للاسطوانة لأن يصير الخط ب بَ محل الخط أ ى فان الطول أد يكون هو المسافة التى قطعها الثقل الاسطوانى المخروطى فى وحدة الزمن والطول أ م فى ضعف وحدة الزمن والطول أ ل فى ثلاثة أمثالها والطول أ ى فى أربعة أمثالها لان الاطوال اَ و بَ تَ و تَ ثَ و ثَ ح متساوية وبقياس المسافات اد و ام و ال و اى يتبين أن



ش ٢٥

ام = ٤ اد

ال = ٩ اد

اى = ١٦ اد

أى ان المسافات التى يقطعها الجسم بسقوطه المطلق تزداد بنسبة مربع الزمن الذى فيه قطع الجسم هذه المسافات وفى مدة التجربة لا يحس بمقاومة الهواء للوزن به بسبب قصر زمن سقوطه وشكله

ولا يتحقق عملا بجهاز (مورن) قانون السرعة ولكن يسهل تصوره فان اد هى المسافة المقطوعة بالثقل به فى وحدة الزمن و ٤ اد المسافة المقطوعة فى زمن يساوى ضعف وحدة الزمن و ٩ اد فى ثلاثة أمثال الوحدة و ١٦ اد فى أربعة أمثال الوحدة وحينئذ فالجسم قطع فى الوحدة الثانية الزمانية المسافة ٤ اد — اد = ٣ اد وفى الوحدة الثالثة ٩ اد — ٤ اد = ٥ اد وفى الوحدة الرابعة ١٦ اد — ٩ اد = ٧ اد

فاذا فرضنا أن السرعة المكتسبة بعد كل وحدة زمن عدمت مرة واحدة فمن البين أن الجسم المتحرك لا يقطع فى وحدة الزمن المتتابعة المكونة لزمن سقوطه الا المسافة الثابتة اد وعلى ذلك فالمسافات التى يقطعها بسرعته المكتسبة ١ و ٢ و ٣ من وحدة الزمن هى

فى الوحدة الزمانية الثانية ٣ اد — اد = ٢ اد

فى الوحدة الزمانية الثالثة ٥ اد — اد = ٤ اد

فى الوحدة الزمانية الرابعة ٧ اد — اد = ٦ اد

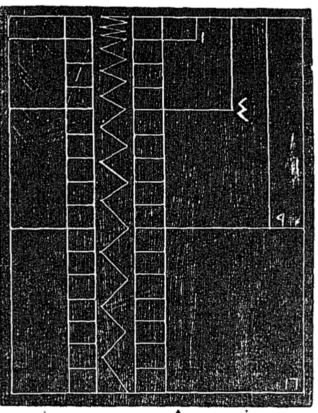
وحينئذ

وحينئذ فنسبة بعض السرع المكتسبة للجسم المتحرك فى ١ و ٢ و ٣ من وحدة الزمن الى بعض كالاعداد ٢ و ٤ و ٦ أى متناسبة مع الزمن الماضى من وقت ابتداء السقوط والكمية ٢ أ د التى تزدادها السرعة فى كل وحدة زمانية هى المعجلة للتثاقل وبأخذ الثانية وحدة للزمن تدل هذه الكمية التى يرمز لها فى الغالب بالحرف ع على شدة التثاقل وهى للجسم الساقط سقوطا مطلقا فى الفراغ فى باريس ع = ٩٫٨٠٨٨ متر

٤٣ — آلة (بروز) — هذه الآلة كآلة (أتود) ولا تخالفها الا قليلا ففيها محور البكرة التى تحمل الخيط ذا الثقلين يحمل اسطوانة ملفوفا عليها ورق مسود بنيلج وفيها صفيحة مرنة من الحديد الحلو مثبتة من طرفها السفلى بحيث تهتز متى بعدت عن مكان موازنتها وحيث ان اهتزازاتها متساوية الزمن يمكن اخذ عددها مقياسا له وطرف هذه الصفيحة الآخر مدقق قابل للثنى يرسم على ورق الاسطوانة خطوطا بيضا أفقية من اليمين الى اليسار ومن اليسار الى اليمين كاهتزاز الصفيحة وبدوران الاسطوانة على محورها تكون هذه الخطوط على الورق متعرجة متواصلة وعدد هذه التعرجات هو عين عدد اهتزازات الصفيحة فالاعداد المتساوية من هذه التعرجات تقابل أزمنة ماضية متساوية ومن الظاهر أنه اذا كانت حركة الاسطوانة منتظمة فان التعرجات تكون متساوية السعة وأنه اذا كانت الحركة غير منتظمة بل معجلة فانها تتسع مع بقائها متناسبة مع سرعة دوران الاسطوانة وسرعة دوران الاسطوانة هى عين سرعة دوران العجلة وسرعة دوران العجلة تختلف باختلاف سرعة الثقل الساقط المحرك لها وفى هذه الآلة زيادة على ما فى آلة (أتود) الكترومغناطيسان يمر فيهما تيار كهربائى أحدهما فى الجزء السفلى من الجهاز وعليه يرتكز أحد الثقلين المعلقين فى خيط الحرير وبسبب جذب الالكترومغناطيس لهذا الثقل تمتنع حركته والالكترومغناطيس الثانى فى الجزء العلوى من الجهاز يجذب طرف الصفيحة فتبعد عن مكان موازنتها

ولعمل التجربة بهذه الآلة يقطع التيار فجأة فيصير الثقل غير مجذوب بالالكترومغناطيس فيتحرك الثقلان بتأثير الثقل الاضافى كما فى آلة (أتود) وفى هذا الوقت عينه يصير طرف الصفيحة غير منجذب بالالكترومغناطيس فتهتز اهتزازات بندولية متساوية الزمن ترسم على الورق الاسود فلنفرض أن أحد الثقلين سقط بوضع الوزن الاضافى عليه من ارتفاع الآلة فبنشر الورق الملفوف على الاسطوانة يتحقق قانون المسافة بالخط المتعرج كما يظهر من (شكل ٢٦) ففيه يشاهد أنه يقابل كل من الازمنة المتتابعة المتساوية ثلاث اهتزازات تامة للصفيحة

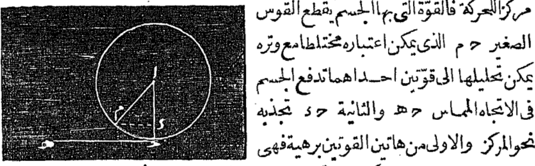
ونسبة بعض المسافات المشغولة فى كل زمن بالتعرجات المقابلة للاهتزازات الثلاثة الى بعض هى كالعدد ١ و ٣ و ٥ واذا فالمسافات المحسوبة من ابتداء الحركة هى كالعدد ١ و ٤ و ٩ و ١٦ أى متناسبة مع مربع الزمن وبهذه الآلة يحقق قانون السرعة المكتسبة كما يحقق بآلة (اتود)



ش ٢٦

٤٣ — الحركة المنحنية — الحركة منتظمة أو مختلفة قد تكون مستقيمة ومنحنية وفى الحالة الثانية يتبع الجسم فى سيره طريقا منحنيا بدل أن يتبع طريقا مستقيما اما بسبب قوة مستمرة تؤثر بميل فى الجسم وفيه سرعة أصلية كتأثير التثاقل على جسم قذف بالميل من أسفل الى أعلى واما بسبب مقاومة تؤثر دائما فى جسم اكتسب حركة بتأثير قوة برهية كحركة جسم معلق فى خيط يمكن دورانه حول نقطة ثابتة قذف فى اتجاه عمودى على هذا الخيط والحركة المنحنية تسمى باسماء مختلفة بحسب الخطوط الهندسية الدالة على طريق الجسم المتحرك فى الاحوال المختلفة فمنها ماهى حركة دائرية ومنها ماهى قطع مكافئ ومنها ماهى قطع ناقص الى غير ذلك

٤٤ — القوة المركزية الطاردة — ليكن ح (شكل ٢٧) جسما يدور حول نقطة ا مركزا للحركة فالقوة التى بها الجسم يقطع القوس الصغير ح م الذى يمكن اعتباره مختلطا مع وتره يمكن تحليلها الى قوتين احداهما تدفع الجسم فى الاتجاه المماس ح هـ والثانية ح ى تجذبه نحو المركز والاولى من هاتين القوتين برهية فهى التى دفعت الجسم فى بدء الحركة فى الاتجاه المماس



ش ٢٧

للقوس ح م أما الثانية العمودية فهى مستمرة لانه لو انقطع فعلها الترك الجسم الدائرة المتحرك

هو

هو حولها واتجه فى الاتجاه المماس ح هـ ووجود هاتين القوتين حقيقى بدليل أنه لو انقطع الخيط المعلق فى نقطة ا لاتجه فى اتجاه المماس ح هـ ومن جهة ثانية فان الجسم المتحرك يحدث جذبا فى الاتجاه ء ح ومنشأ هذا الجذب هو جذب مضاد له من النقطة ا حيث ان لكل فعل ردا مساويا ومضادا له فى الاتجاه ولا ردّ فعل للقوة ح هـ حيث انها برهية أثرت فى بدء الحركة فردّ فعلها لا يكون له وجود الا فى بدء الحركة

والقوة التى تجذب الجسم نحو المركز ا تسمى بالقوة المركزية الجاذبة والمساوية لها المضادة فى الفعل هى القوة المركزية الطاردة وبادارة جسم معلق فى طرف خيط أمسك طرفه الآخر باليد يحس بجذب فى اليد هو نتيجة القوة المركزية الطاردة والمجهود الذى تعمله اليد حتى لا ينفذ الجسم منها هو مدلول القوة المركزية الجاذبة وفى الحقيقة ليس الاول الا ردّ فعل الثانى كما يحصل من ضغط جسم فانه يحس بمقاومة تساوى فى الشدّة الضغط المفعول

ولاستنتاج قوانين القوّة المركزية الطاردة نلاحظ أن ح م أى القوس هو المسافة المقطوعة فى الزمن ن تساوى س ن لان حركة الجسم حول نقطة ا حركة منتظمة فاذا يكون م ح = س ن ومن جهة أخرى ك كتلة الجسم المتحرك و ق القوة التى بها يجذب فى الاتجاه ح ا فيكون $\text{ح ا} = \frac{1}{2}\,\frac{\text{ق}}{\text{ك}}\,\text{ن}^2$ وحيث ان ح م وسط متناسب بين قطر الدائرة و ح ء فيكون $\text{ح ء}^2 = 2\,\text{نق} \times \text{ح ء}$ وباستبدال ح م و ح ء بما ساواهما مستخرجين من المعادلتين السابقتين يحصل

$$\frac{\text{س}^2\,\text{ن}^2}{2\,\text{نق}} = \frac{1}{2}\,\frac{\text{ق}}{\text{ك}}\,\text{ن}^2$$

أو أن

$$\text{س}^2 = \frac{\text{ق}\,\text{نق}}{\text{ك}} \qquad \text{ومنها} \qquad \text{ق} = \frac{\text{س}^2\,\text{ك}}{\text{نق}}$$

وهى بيان القوّة المركزية الطاردة وما ساواها القوّة المركزية الجاذبة ومفهوم هذه المعادلة أن القوّة المركزية الطاردة أو ما ساواها القوّة المركزية الجاذبة متناسبة مع مربع السرعة فاذا صارت سرعة الجسم ضعف أو ثلاثة أمثال أو أربعة أمثال ما كانت صارت القوّة المركزية الطاردة أربعة أمثال أو تسعة أمثال أو ستة عشر مثل ما كانت وأنه اذا تساوت الكتل والسرع فان القوّة المركزية تكون على عكس نصف قطر الدائرة المقطوعة بالجسم المتحرك فاذا قطع الجسم دائرة نصف قطرها ضعف أو ثلاثة أمثال نصف قطر دائرة قطعها قبل بهذه السرعة نفسها كانت القوّة المركزية الطاردة نصف أو ثلث ما كانت وبعبارة أخرى اذا كان جسم

يقطع دائرة بحركة منتظمة فالقوّة المستمرة التي بها ينجذب الجسم نحو المركز تكون مساوية لحاصل ضرب كتلته في مربع سرعة الحركة مقسوما على نصف قطر الدائرة وما يصدق على الفعل يصدق على رده لمساواته له

ويمكن إكساب دستور القوّة المركزية الطاردة شكلا آخر فليكن ن الزمن الذي فيه الجسم يقطع الدائرة بحركة منتظمة أي الذي فيه يقطع المسافة ٢ ط ىو فسرعة الجسم س تساوي المسافة مقسومة على الزمن وإذا يكون س = $\frac{٢ط ىو}{ن}$ وبوضع قيمة س هذه بدل س في المعادلة ى = $\frac{ك س^٢}{ىو}$ يحدث

$$ى = \frac{٤ط ىو^٢}{ن^٢}$$

ويستنتج من هذه المعادلة أنه اذا كانت عدة أجسام متساوية الكتل تقطع في أزمنة واحدة دوائر مختلفة القطر فان القوة المركزية لهذه الاجسام تكون متناسبة مع انصاف أقطار هذه الدوائر

وللقوّة المركزية الطاردة عمل في حركة دوران الارض حول محورها لان كل نقطة من سطح الارض تقوم مقام الجسم في المثال المتقدم والى القوّة المركزية الطاردة ينسب أخذ المجلة في النقصان كلما اشتدّ القرب من خط الاستواء لان القوة المركزية الطاردة في خط الاستواء هي $\frac{١}{٢٨٩}$ من شدّة التثاقل ومضادّة له في الاتجاه بحيث لو صارت حركة الارض أكبر مما هي عليه $١٧^٢$ مرة أي صارت أكبر مما هي عليه ٢٨٩ لعادلت القوّة المركزية التثاقل وفي هذه الحالة يصير وزن الجسم معدوما وتفرطح قطبي الكرة الارضية هو نتيجة القوة المركزية الطاردة لانه في الزمن الذي كانت فيه الكرة سائلة كانت الاجزاء التي في خط الاستواء متباعدة عن محور الدوران أكثر من غيرها حيث انها كانت في جهة فيها القوة المركزية في منتهى شدتها لان نصف قطر خط الاستواء أكبر من نصف قطر الدوائر الموازية له

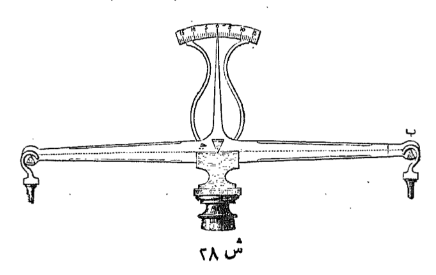
ويتأتى في الحالة التي فيها تكون سرعة دوران الكتلة السائلة عظيمة حتى تحدث قوة مركزية طاردة شدتها أكبر من شدة التثاقل أن جزأ من المادة ينفصل من الكتلة الاصلية وعلى هذا تصوّر (كانت) و (لبلاس) تفسير تكوّن العالم الشمسي فعلى رأي هذين الفاضلين كان العالم الشمسي الذي كرتنا الارضية جزء منه كتلة واحدة في حالة اصطهار ناري وبازدياد حركة دورانها بتعاظم تكاثفها كانت تزداد شدّة القوة المركزية الطاردة فآل أمر قطع من المادة الى الانفصال من الدائر وكوّنت الكواكب السيارة المختلفة

الميزان

الميزان

٤٥ - الميزان آلة معدّة لمعرفة تعيين الوزن النسبي للاجسام أى عدد الجرامات الصحيحة وكسورها المساوية لهذا الموزون

ويتركب فى العادة من ساق صلبة تسمى عاتقا أب (شكل ٢٨) يمر من وسطه ح سكين



ش ٢٨

من الصلب المسقى بارزة من الجهتين حافتها السفلى ترتكز من الجهتين على سطحين صغيرين من الصلب المسقى موضوعين بجانبى العاتق أحدهما من الخلف والآخر من الامام فى مستو أفقى واحد وبذلك يتأتى للعاتق أن يتحرك حول هذه الحافة وفى كل طرف من طرفى العاتق كفة احداهما تحمل الجسم المراد وزنه والاخرى تحمل الصنج ولهذا الغرض كل طرف من طرفى العاتق يحمل سكينا حافتها الى أعلى يرتكز عليها خطاف علقت فيه الكفة وحافات السكاكين الثلاث أ ب ح متوازية فى مستو واحد ولسهولة الفهم نفرض أن النقط الثلاث على خط واحد يسمى خط العاتق والمسافة أح و ب ح أى التى بين السكين المتوسطة ومجاورتها تسمى ذراع العاتق وفى منتصف العاتق ابرة عمودية على خط العاتق يمكن لطرفها أن يتحرك حول قوس مدرّج صفر هذا التدريج يقابل الوضع الرأسى لهذه الابرة ومن أجل ذلك يقابل الوضع الافقى للعاتق وأسهل طريقة لمعرفة وزن جسم بهذا الميزان أن يوضع الجسم المراد وزنه فى كفة ويوضع فى الكفة الثانية صنج الى أن يصير عاتق الميزان فى حالة موازنة فى الوضع الافقى فتجمع الصنج ومجموعها هو وزن الجسم

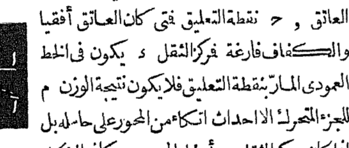
وليكون هذا الوزن صحيحا يلزم أن يكون الميزان مضبوطا أى أن يأخذ عاتقه وضعا أفقيا بوضع أوزان متساوية فى كفتيه وليكون الوزن محكما يلزم أن يكون الميزان حساسا أى أنه اذا وضع

وزن صغير فى احدى كفتى الميزان وعاتقه فى الوضع الافقى مال عن هذا الوضع ولا توجد هاتان الصفتان الا بشروط هندسية تراعى وقت صنع الميزان

٤٦ — شروط ضبط الميزان — الميزان يكون مضبوطا متى وجد فيه الشرطان الآتيان

أولا — أن يكون مركز ثقل الجزء المتحرك (العاتق والكفاف) فى الخط العمودى على خط العاتق المار بنقطة التعليق

ثانيا — أن يكون ذراعا العاتق متساويى الطول لاننا لو فرضنا اب من (شكل ٢٩) خط العاتق و ح نقطة التعليق فمتى كان العاتق أفقيا والكفاف فارغة فمركز الثقل ى يكون فى الخط العمودى المار بنقطة التعليق فلا يكون نتيجة الوزن م للجزء المتحرك الا احداث اتكاء من المحور على حامله بل اذا كان مركز الثقل ى أسفل المحور ح كما فى الشكل



ش ٢٩

المذكور فان الموازنة تكون مستمرة لانه اذا مال العاتق وصار فى الوضع اَ بَ فالوزن م يحدث رجوع مركز الثقل الى ى فى الخط العمودى المار بنقطة ح فاذا كان مركز الثقل فى الخط العمودى بنقطة ح وكفاف الميزان فارغة وعاتقه أفقيا فان العاتق يكون فى حالة موازنة وتكون هذه الموازنة مستمرة متى كان مركز الثقل أسفل من نقطة التعليق

واذا فرضنا أن ذراعى العاتق متساويان طولا ووضعنا فى كفافه أوزانا متساوية فان هذه الاوزان تؤثر فى طرفى العاتق ا و ب كقوتين عموديتين متساويتين ومتوازيتين ومحصلتهما تكون مساوية لمجموعهما مارة من وسط العاتق اب أى بالنقطة ح نفسها واذا يمكن اعتبارها مرتكزة فى نقطة ح فتكون نتيجتها احداث ضغط المحور على حامله ومن ذلك يبقى العاتق فى حالة موازنة وتكون هذه الموازنة مستمرة اذا كان مركز الثقل أسفل من نقطة التعليق ففى هذه الحالة الاخيرة اذا أميل العاتق وصار فى الوضع اَ بَ فان وزنه م يعيده ثانيا الى الوضع اب

فاذا تساوى ذراعا الميزان وكان مركز ثقله فى الخط العمودى على خط العاتق المار بنقطة التعليق وكان مركز الثقل فى نقطة التعليق نفسها أى فى المحور فان الميزان وكفافه خالية أو محتوية على أوزان متساوية تكون فى حالة موازنة اذا كان عاتقه فى الوضع الافقى واذا أميل العاتق فانه يبقى أيضا فى حالة موازنة ولا يعود الى الوضع الافقى أى أن موازنته تكون متعادلة

واذا كان مركز ثقل الميزان أعلى المحور فان الميزان وكفافه خالية أو محتوية على أوزان متساوية

تكون

تكون فى حالة الموازنة متى كان عاتقه أفقيا فاذا أميل العاتق عن وضعه صارت الموازنة غير ثابتة فينقلب الميزان ومثل هذا الميزان يسمى مختلا وعلى ذلك يلزم ليتأتى استعمال ميزان مضبوط أن يكون مركز ثقل جزئه المتحرك أسفل من نقطة التعليق وهو الوضع الوحيد الذى تكون فيه الموازنة مستقرة

وصانعو الموازين يصنعون العاتق والكفاف متماثلة بقدر الامكان وزناو حجما كى تتوفر فى الميزان شروط ضبطه وليكون ذراعا الميزان متساويين على أى وضع كان عاتقه يجعلون محور التعليق وحوامل الخطاطيف من أحرف قاطعة لانه بذلك تبقى نقط الملامسة واحدة مهما كان ميل العاتق

وللتحقق من كون الميزان مضبوطا من غير صنع مقطوع بتساويهما تعمل العمليتان الآتيتان

أولا — يترك الميزان ونفسه خالى الكفاف فان أخذ عاتقه الوضع الافقى كان مستوفى الشرط الاول وكان مركز ثقله فى وضع مناسب وان كان الامر بخلاف ذلك وضع ثقل مناسب فى الجهة التى ترى خفتها حتى يأخذ الميزان الوضع الافقى

ثانيا — لتحقيق تساوى ذراعيه يوضع فى احدى الكفاف جسم أيا كان ويوضع فى الكفة الثانية مخردق الخارصين أو الرمل الى أن يصير عاتق الميزان فى الوضع الافقى ثم ينقل ما بالكفة اليمنى الى الكفة اليسرى وما باليسرى الى اليمنى فان بقيت الموازنة على ما هى عليه كان ذراعا الميزان متساويين وان اختلت وأخذ عاتق الميزان وضعا آخر كان ذراعاه غير متساويين لانه لو كان أحد الذراعين ا ح مثلا أطول من الذراع الآخر ح ب كان الثقل الذى فى الجهة ب أكبر مما فى الجهة ا ولا تحصل موازنة الميزان وهو رافعة الا اذا كان عزما قوتيه متساويين وبنقل الثقلين أحدهما محل الآخر يصير الثقل الاصغر جهة الذراع الاقصر والثقل الاكبر جهة الذراع الاطول فتختل الموازنة لان المجموع الجبرى لعزمى القوى لا يصير معدوما

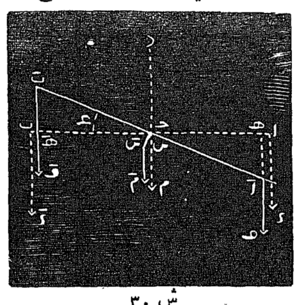
٤٧ — شروط حساسية الميزان — لابد فى الميزان من شروط ثلاثة ليكون فى منتهى حساسيته أى ليكون فى حالة بحيث لو وضع فى احدى كفتيه وزن صغير وهو فى موازنة فان هذا الوزن يحدث فيه ميلا يكون أكبر ما يكون

الاوّل — أن يكون ذراعا الميزان أطول ما يكون

الثانى — أن يكون وزن الميزان أصغر ما يكون

الثالث — أن يكون مركز الثقل أقرب ما يكون من محور التعليق

ولبيان ذلك نفرض أن و و َ وزنان متساويان موضوعان فى كفتى ميزان نقطه الثلاث احب (شكل ٣٠) على خط مستقيم واحد فيكون عاتق الميزان فى حالة موازنة فى الوضع الافقى لان محصلة و + وَ تمر بنقطة التعليق ونتيجتها اتكاء محور العاتق على حامله فاذا وضع فى احدى كفتى الميزان الثقل ن فان هذا الثقل يميل العاتق فيأخذ الوضع آ تَ وفى هذه الموازنة الجديدة يلزم ان يكون المجموع الجبرى لعزم القوى و + ن و وَ و م معدوما أى يكون (م وزن الميزان وهى قوة محل ارتكازها مركز الثقل س)



ش ٣٠

$$(و + ن) \times هـ ح - (وَ \times هـَ ح + م \times س سَ) = ٠ \quad (١)$$

أوان

$$(و + ن)\ هـ ح = و \times هـَ ح + م \times س سَ$$

ونلاحظ ان هـ ح ضلع لمثلث قائم الزاوية كذلك هـَ ح و س سَ فيكون

هـ ح = آ ح × جتا ع (زاوية ع هى زاوية ميل العاتق)

و هـَ ح = تَ ح × جتا ع و س سَ = سَ ح × جا س ح سَ

وحيث ان زاوية س ح سَ ليست شيئا آخر غير زاوية الميل ع فيكون س سَ = س ح × جا ع ونلاحظ ان آ ح و تَ ح هما طول ذراعى الميزان وهما متساويان وان سَ ح هى المسافة بين مركز الثقل ونقطة التعليق فاذا رمزنا لذراع الميزان بالحرف ل وللمسافة سَ ح بالحرف ى واستعوضنا هـ ح و هـَ ح و سَ ح بما ساواها فى المعادلة يحدث

$$(و + ن)\ ل\ جتا ع = وَ\ ل\ جتا ع + م\ ى\ جا ع$$

أو

$$و\ ل\ جتا ع + ن\ ل\ جتا ع = وَ\ ل\ جتا ع + م\ ى\ جا ع$$

وحيث ان وَ = و فيكون

$$وَ\ ل\ جتا ع = و\ ل\ جتا ع$$

وبالاختصار

وبالاختصار يكون

$$\text{ف ل حـاء} = \text{م ى حـاء} \quad \text{ومنه} \quad \frac{\text{حـاح}}{\text{حـاء}} = \frac{\text{ف ل}}{\text{م ى}} \quad \text{أو ان} \quad \text{ما} = \frac{\text{ف ل}}{\text{م ى}}$$

وهذه معادلة تدل على ان ميل الميزان يكون أعظم كلما كان ذراعا الميزان أطول وكان الفرق بين الاثقال الموجودة فى الكفاف أعظم وكان وزن الميزان أخف والمسافة بين مركز الثقل ونقطة التعليق قصيرة وبعبارة أخرى حساسية الميزان متناسبة مع الفرق بين الثقلين الموجودين فى كفتى الميزان ومع طول ذراعيه وعلى العكس من وزنه ومن المسافة بين مركز الثقل ونقطة التعليق فتزداد حساسية الميزان كلما ازداد ذراعاه طولا وخف وزنا وقرب مركز ثقله من نقطة تعليقه وكان الفرق بين الثقلين اللذين يوضعان فى كفتيه عظيما

وليكون فى الميزان شروط الحساسية يصنع عاتقه من مسطرة مسطوحة من البرنز الصلب يكسبونها شكلا معينيا يفرغ معظم داخلها فبذلك يتأتى جعل عاتق الميزان طويلا خفيفا فيه المقاومة الكافية لأن يكون خط العاتق مستقيما ولامكان تقريب مركز الثقل من نقطة التعليق يصحبون عاتق الميزان بكرة معدنية صغيرة تتحرك على مسمار برمة مثبت فيه ازاء محوره فبخفض الكرة أو رفعها يقرب مركز الثقل أو يبعد من نقطة التعليق فيتأتى جعله فى النقطة المناسبة لان يكون فى الميزان الحساسية المطلوبة

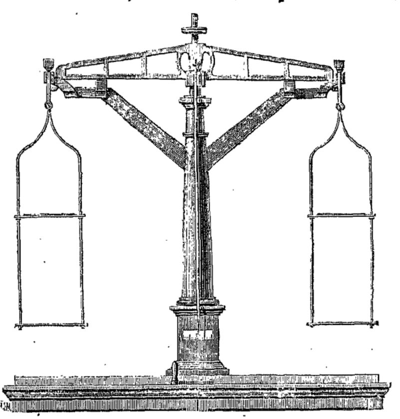
ويقال للميزان حساس بمليجرام أو سنتيجرام بحسب كون المليجرام أو السنتيجرام يكفى لامالة العاتق زاوية محسوسة ولكل ميزان حد وحده هو أكبر ثقل يمكن وزنه به من غير حصول انثناء فى عاتقه

وتختلف الموازين بحسب الاجسام المراد وزنها فمن الموازين ما هو معد لوزن أجسام خفيفة فعاتق هذه الموازين خفيف

ومنها ما هو معد لوزن أجسام ثقيلة وعاتق هذه ثقيل حتى يمكنها رفع الموزون من غير حصول انثناء فيه وغالب هذه حساس بسنتيجرام فخطأ الوزن بها يبلغ بعض سنتيجرامات فى وزن ثقل مقداره بعض كيلوجرامات وهو خطأ قليل الاهمية لتوزعه على وزن عظيم

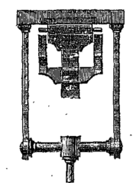
٤٨ — تركيب الميزان الحساس — الموازين المستعملة فى المعامل للابحاث الدقيقة تصنع مستوفية لشروط ضبط وحساسية الميزان التى ذكرناها وفيها يعتنى بجعل طول ذراعى الرافعة ثابتا لا يتغير أى بجعل المسافة بين نقطة ارتكاز عاتق الميزان ونقطتى تعليق كفتيه غير قابلة للتغير

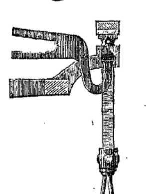
وفى الغالب يكون شكل عاتق الميزان معينيا فيه استطالة (شكل ٣١)



ش ٣١

ليكون خفيف الوزن فيه مع ذلك المقاومة الكافية حتى لا يحصل فيه اثناء يوضع أكبر موزون فيه يمكن وزنه به وفى وسط العاتق سكين هى منشور مثلثى حرفه القاطع السفلى يرتكز على سطح مستو صغير من الصلب المسقى أو من العقيق محمول على عمود رأسى موضوع على تختة وينبغى أن يأخذ هذا العاتق وحده الوضع الافقى متى كان مرتكزا بسكينه على العاتق وطرفا العاتق منحنيان ينتهيان بسكينين من الصلب حرف كل منهما القاطع متجه الى الاعلى (شكل ٣٢) والكفاف محمولة بسوق معدنية صغيرة القطر فى جزئها العلوى مربع يرتكز بسطح من الصلب المسقى أو من العقيق على السكينين المتطرفتين وبهذا الوضع تكون المسافة بين نقطة تعليق احدى الكفتين ونقطة ارتكاز الميزان غير قابلة للتغير





ش ٣٢

وخوفا من كلال الحرف القاطع للسكاكين شيأ فشيأ لو حملت السكاكين دائما العاتق

والكفاف

والكفاف تجعل السكاكين غير مرتكزة على السطوح الصلبة الاوقت الوزن ولهذا الغرض يجعل خلف العمود قطعة معدنية تسمى الشوكة يمكن رفعها وخفضها وبرفعها تجذب فى حركتها كفتى الميزان ثم العاتق فتكون السكاكين غير حاملة لثقل ما ووقت الوزن تخفض الشوكة فتضع الكفتين على سكينيهما ثم العاتق على حامله ويلزم أن تكون حركة خفض الشوكة لطيفة جدا لان مصادمة أحرف السكاكين لسطوحها تتلفها

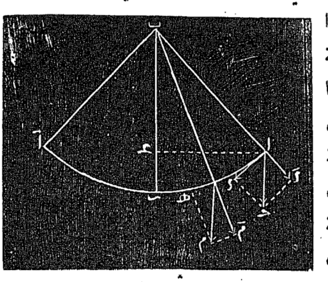
ولجعل مركز ثقل الميزان فى مكان مناسب لأن يكون فى الميزان الحساسية الممكنة يجعل فوق منتصف عاتق الميزان ساق يتحرك عليها كرة بخفضها أو رفعها يتوصل بالتحرير الى جعل مركز الثقل فى النقطة المناسبة وفى عاتق الميزان ابرة طويلة متجهة الى الاسفل يتحرك طرفها أمام قوس صغير مقسم الى درجات متساوية معدة لمعرفة سعة التذبذبات وفى وسط الدرجات درجة الصفر وأمامها تقف الابرة متى حصلت الموازنة ولكون تذبذبات الابرة بطيئة الحركة لا ينتظر وقوفها بل يلاحظ ما تقطعه من الدرج على يمين ويسار الصفر فتساوى القوسين المقطوعين بالابرة على جانبى الصفر يدل على تساوى الثقلين الموجودين فى كفتى الميزان

٤٩ — الوزن المزدوج — يمكن معرفة وزن جسم بالتحرير ولو كان ذراعا الميزان غير متساويين باستعمال طريقة (بوردا) المسماة طريقة الوزن المزدوج لكن بشرط أن يكون الميزان حساسا ويحصل هذه الطريقة أن يوضع الموزون فى احدى الكفاف وتفعل موازنة الميزان بعدل يوضع فى الكفة الثانية من محردق الرصاص به تصير الاقواس التى تقطعها الابرة على جانبى الصفر متساوية السعة ثم يرفع الموزون ويوضع موضعه صنج كافية لأن تقطع بها الابرة أقواسا متساوية على جانبى الصفر فمجموع الصنج هو وزن الجسم لان هذه الصنج والموزون وازنت العدل فى ظروف واحدة وتستعمل هذه الطريقة فى جميع الاحوال التى يراد فيها تحرير الوزن

البندول

٥٠ — البندول فى علم الطبيعة نوعان بندول بسيط وبندول مركب فأما البندول البسيط ويسمى الوهمى فهو نقطة مادية ذات وزن م (شكل ٣٣) معلقة فى الفراغ بخيط ب م غير قابل للمد لا ثقل له معلق فى نقطة ثابتة ب لا يحدث فيها أدنى احتكاك وهذا البندول اذا ترك وشأنه فانه بتأثير التثاقل فيه يأخذ الاتجاه العمودى ب م ويبقى فى حالة الموازنة كخيط من الرصاص ولكن اذا ابعد عن هذا الاتجاه وجعل فى الاتجاه اب فان الموازنة تختل فقوة التثاقل تجذب النقطة المادية فى الاتجاه العمودى اح وهى لا يمكنها

أن تتحرك فيه لممانعة الخيط ا ب لها غير أن هذه القوة تحلل الى قوتين اك في امتداد الخيط و ا د عمودية على هذا الامتداد والاولى تنعدم بمقاومة الخيط لها أما الثانية فتعمل وحدها وهى التى تؤثر فى البندول لتعيده الى مكان موازنته فتقطع النقطة المادية القوس ا ب بسرعة معجلة لان القوة المحدثة لحركتها قوة مستمرة ومتى صارت النقطة المادية فى ب ارتفعت بالسرعة المكتسبة لها أثناء



ش ٣٣

حركتها من ا الى ب غير أن سرعة ارتفاعها تكون متقهقرة الى أن تصل الى نقطة آ وفيها تقف ثم تنزل الى ب ثم ترتفع الى ا وهكذا تفعل النقطة تذبذبات سعة كل واحدة منها الزاوية ا ب آ المتكونة من المحلين المتطرفين للخيط

وحيث ان التثاقل أثر من ا الى ب كقوة معجلة ومن ب الى آ كقوة متقهقرة فما يحدث من نقصان السرعة فى مسير النقطة المادية من ب الى آ هو عين ما يحدثه من ازديادها فى مسير النقطة المادية من آ الى ب ولهذا يلزم أن يكون سعة الاهتزازات وأزمانها واحدة وذلك أمر لا يمكن تحقيقه عملا لان هنالك موانع أخصها مقاومة الهواء والاحتكاك الذى فى نقطة التعليق مهما كان الاعتناء بها ولذلك يرى باهتزاز البندول تناقص سعة الاهتزازات شيأ فشيأ ثم يقف البندول بعد زمن مختلف الطول ويصير فى الاتجاه العمودى

٥١ — قانون اهتزاز البندول — اهتزاز البندول منقاد الى هذه القوانين

القانون الاول — تذبذبات البندول التى لا يتعدى سعتها ٣ أو ٤ درجات متساوية الزمن أى أنها تحصل فى أزمنة متساوية ولو اختلفت سعة الذبذبة بشرط أن لا تتعدى سعتها أربع درجات ويحقق هذا القانون بتعيين الزمن الذى يحصل فيه مائة ذبذبة بعد أن تصير سعة الذبذبة أقل من أربع درجات ثم يعين الزمن الذى يحصل فيه مائة ثانية وهكذا وحيث ان سعة الذبذبة تأخذ فى التناقص الى أن تنعدم فمن البين ان سعتها فى المائة الثانية تكون أصغر منها فى المائة الاولى وهكذا فيشاهد مع ذلك ان الزمن الذى حصل فيه المائة الاولى هو عين الزمن الذى حصل فيه المائة الثانية والثالثة وهكذا

وينسب هذا القانون للعالم (جليليه) ويقال انه وقف عليه برؤيته لاهتزاز مصباح كان معلقا في قبوة كنيسة في بيز ثم وقف بعد ذلك على العلاقة الكائنة بين زمن التذبذبات وطول البنادل المحدثة لها

القانون الثاني — زمن تذبذب البنادل التي طولها واحد المتذبذبة في محل واحد في الفراغ واحد مهما كانت طبيعة المادة المتكونة منها البندول

ولتحقيق هذا القانون تعلق كرات مختلفة الطبيعة (كرة من الرصاص وأخرى من العاج وأخرى من النحاس وهكذا) في خيوط من الحرير متساوية الطول ثم تهز هذه البنادل فتتذبذب معا فيشاهد أن زمن كل ذبذبة واحد في جميع هذه البنادل ويستنتج من هذه الحقيقة ان المجلة ع الحاصلة من تأثير التثاقل في أجسام مختلفة واحدة في المكان الواحد

القانون الثالث — زمن تذبذب البنادل المختلفة الطول المتذبذبة في محل واحد يكون على حسب الجذر التربيعي لأطوال هذه البنادل

ولتحقيق هذا القانون تؤخذ بنادل نسبة أطوالها بعضها الى بعض كنسبة ١ : ٤ : ٩ : ١٦ وتذبذب فيشاهد أن نسبة أزمنة تذبذباتها كنسبة ١ : ٢ : ٣ : ٤

القانون الرابع — زمن تذبذب البنادل المتساوية الطول المتذبذبة في مواضع مختلفة من الارض تكون على العكس من الجذر التربيعي لشدة التثاقل في هذه المحال

ولتحقيق هذا القانون ينقل البندول الى محال مختلفة من الارض بحيث يقرب أو يبعد من خط الاستواء ثم يعين عدد التذبذبات التي تحصل في زمن واحد في المحال المختلفة فيتبين أن زمن الذبذبة على العكس من الجذر التربيعي لشدة التثاقل الحاصل في محل الذبذبة

٥٣ — البندول المركب — هو كل جسم ثقيل يهتز حول نقطة أو ساق فكل نقطة من هذا البندول تميل بتأثير التثاقل فيها الى التذبذب منقادة الى قوانين البندول البسيط أي الى أن تفعل تذبذبات تكون أكثر بطأ كلما ابعدت عن مركز التعليق وأكثر سرعة كلما قربت منه وحيث ان جميع النقط المادية المكونة للبندول المركب مرتبط بعضها ببعض بلا تغير فلا يتأتى لاحدى هذه النقط أن تتذبذب في زمن غير زمن ذبذبة الاخرى فزمن تذبذب هذه النقط جميعها واحد هو متوسط زمن تذبذبها لو تذبذبت كل نقطة على انفرادها فينتج من ذلك ان حركة النقط البعدى عن مركز التعليق تكون معجلة وحركة النقط القربى تكون متقهقرة وبين هذه وتلك مكان فيه نقط تتذبذب كما لو كانت غير مرتبطة ببقية النقط وهذا المكان يسمى مركز التذبذب والمسافة بين هذا المركز ومركز التعليق تسمى بطول البندول وبالحساب

يتوصل الى تعيين مركز تذبذب البندول المركب متى كان متجانسا اذا شكل هندسى ويتوصل الى هذا التعيين عملا لان البندول اذا علق من مركز تذبذبه صارت نقطة تعليقه الاولى مركزا للتذبذب فى الوضع الجديد وبذلك يكون زمن الذبذبة فى الوضعين واحدا وعلى ذلك فلتعيين طول بندول مركب تفعل تذبذبات زمنها معلوم ثم يقلب وضعه ويبحث بالاستقراء عن النقطة التى تعليقه منها يكون زمن تذبذبه هو عين زمن تذبذبه قبل قلبه فالمسافة بين نقطة تعليقه الاولى والثانية هى طول هذا البندول وهو طول اذا وضع فى معادلة البندول البسيط كانت صادقة على البندول المركب وقوانينهما واحدة وهذه المعادلة هى

$$ن = ط \sqrt{\frac{ل}{ع}} \qquad (١)$$

والقوانين التى ذكرناها مستخرجة من هذه المعادلة التى فيها ن رمز لزمن الذبذبة الواحدة وحرف ل لطول البندول وحرف ع لشدة التثاقل و ط للنسبة الكائنة بين الدائرة وقطرها

أما القانون الاول والثانى من القوانين الاربع فيستنتجان منها بمجرد النظر لان المعادلة لا تحتوى على شئ يتعلق بسعة التذبذب ولا بكثافة المادة المركب منها البندول فزمن الذبذبة ن حينئذ لا يتعلق بهما

ولاستنتاج الثالث نفرض بندولا آخر طوله لَ ونرمز بالحرف نَ لزمن واحدة من تذبذباته فيكون للبندول الثانى

$$نَ = ط \sqrt{\frac{لَ}{ع}} \qquad (٢)$$

أما قيمة ع فواحدة فى البندولين حيث ان التذبذبات واقعة فى محل واحد واذا قسمنا المعادلة (١) على المعادلة (٢) واخترلنا يحدث

$$\frac{ن}{نَ} = \sqrt{\frac{ل}{لَ}} \qquad (٣)$$

وهى تدل على أن التذبذبات فى محل واحد تكون متناسبة مع الجذر التربيعى لاطوال البنادل ولاستنتاج القانون الرابع نفرض بندولا طوله كالاول تذبذب فى محل غير الذى تذبذب فيه الاول ونرمز للعرف نَ لزمن كل ذبذبة من ذبذبات الثانى وبالحرف عَ لشدة التثاقل فى محل تذبذب هذا البندول فيكون

$$نَ = ط \sqrt{\frac{ل}{عَ}} \qquad (٤)$$

وبقسمة

وبقسمة المعادلة (١) على المعادلة (٤) والاختزال يحدث

$$\frac{ن}{ن'} = \sqrt{\frac{ع'}{ع}} \qquad (٥)$$

وهى تدل على أن زمن تذبذبات بنادل متساوية الطول متذبذبة فى محال مختلفة تكون على العكس من الجذر التربيعى لشدة التثاقل فى هذه المحال

واذا ربع طرفا المعادلة (١) أمكن استخراج قيمة ع منها فتكون

$$ن^٢ = \frac{ط^٢ ل}{ع} \quad \text{ومنها} \quad ع = \frac{ط^٢ ل}{ن^٢} \qquad (٦)$$

وبذلك يرى أنه لمعرفة قيمة معجلة التثاقل فى محل معين يبحث عن الزمن ن اللازم لتذبذبات بندول معلوم الطول

٥٣ — قياس شدة التثاقل — عينت شدة التثاقل بالبندول كما ذكرنا فدلت التجربة على أن قيمة ع واحدة فى جميع الاجسام مهما كانت طبيعتها فى المحل الواحد ولكنها تختلف من محل الى آخر باختلاف العروض فتزداد من خط الاستواء الى القطب ففى خط الاستواء ع = ٩٫٧٨ متر وعلى عرض ٤٥° ع = ٩٫٨٠٥ متر وباحتساب ما تفقده الاجسام من وزنها فى الهواء يصير فى باريز ع = ٩٫٨٠٩٩ متر فيكون طول البندول الذى تستغرق فى باريس ذبذبته الواحدة ثانية واحدة ٠٫٩٩٣٨٦ متر وفى خط الاستواء ٠٫٩٩١٠٣ متر وفى القطب ٠٫٩٩٦٦٧ متر

وازدياد شدة التثاقل بالقرب من القطب متسبب عن أمرين

الاول — هو أن الكرة الارضية مفرطحة فى القطبين ومنتفخة فى خط الاستواء فالاجسام التى على سطح الارض فى جهة القطبين تكون أقرب الى المركز من الموجودة على سطح الارض نحو خط الاستواء ومعلوم أن جذب الكتلة الكرية يحصل كما اذا كانت جميع جزيئاتها مجتمعة فى المركز وأن قوة هذا الجذب تكون على العكس من مربع المسافة فيستنتج من ذلك أن الاجسام التى جهة خط الاستواء تنجذب بشدة أقل من الشدة التى تنجذب بها الاجسام القريبة من القطبين

الامر الثانى — هو أن القوة المركزية الطاردة تؤثر فى اتجاه مضاد للتثاقل تأثيرا أشد فى جهة الاستواء منه فى جهة القطبين

٥٤ — استعمال البندول — البندول مستعمل لقياس شدة التثاقل فى المحال المختلفة ولتنظيم حركة الساعات وأساس هذا الاستعمال الاخير هو تساوى أزمنة التذبذبات الصغيرة

وبالبندول عرفت كثافة الارض وقد استعمله الفرنساوى (فوكول) لاظهار حركة دوران الارض حول محورها وهى تجربة مؤسسة على أن مستوى اهتزاز البندول لا يتغير بدوران نقطة تعليقه

حركة جسم الانسان

٥٥ — حركة جسم الانسان حركة مركبة ناتجة من تأثير التثاقل وقوى طبيعية أخر ويمكن تمييزها الى صنفين حركة كلية أى حركة انتقال وهى حركة بها ينقل الانسان جميع جسمه وحركة جزئية أى حركة فيها تتغير المواضع النسبية للاجزاء المختلفة والهيكل العظمى وفى الحالة الاولى تنتقل قاعدة الجسم وأما فى الثانية فلا تنتقل

ومع كون حركة مشى الانسان متضاعفة يمكن تفسير المهم منها بالقواعد الميكانيكية التى عرفناها ولهذا الغرض نعتبر أولا أن وزن جسم الانسان مرتكز فى مركز ثقله ونعتبر القوى المؤثرة فى نقله مرتكزة فى هذا المركز أيضا

وبالبحث عن محصلة القوى العاملة فى مركز الثقل نقف على حركته وبذلك تكون قد استبدلت حركة الجسم جميعه بحركة مركز ثقله لكن ينبغى أن يلاحظ أنه اذا كان اتجاه القوى المحركة لا يمر بمركز الثقل كما اعتبرنا فانه يحصل فى الجسم حركة انتقال وحركة دوران فى آن واحد غير أن هذه الثانية يمكن صرف النظر عنها لان الانسان فى حركة المشى يعادل حركة الدوران بانقباض خاص فى بعض الاعضاء أو يسعى فى وضع مركز ثقله فى اتجاه القوة المحركة بامالة جذعه امالة مناسبة

وعلى ذلك فليكن خ (شكل ٣٤) مركز ثقل الانسان و به وزنه ولنأخذ للدلالة على هذا الوزن الجزء خ ب من خط التثاقل ونعتبر وقت ما تكون احدى الساقين الخلفية مثلا متكئة على الارض فى نقطة ت فبانبساطها تتولد قوة دفع فى اتجاه الخط ب خ وليكن خ هـ = ف وهى شدة هذه القوة المحدثة لانتقال الجسم فى المشى والعدو وقوة الدفع هذه يمكن تحليلها الى قوتين احداهما عمودية خ و متجهة فى اتجاه مضاد للتثاقل والثانية أفقية ح خ متجهة الى الامام

ش ٣٤

فاذا

فاذا كان الجسم ليس عليه الا الانتقال الى الامام لزم أن تكون المركبة العمودية التى رمزلها بالحرف ب مساوية لوزن الانسان حتى توازنه والمركبة الافقية ح تقدم وحدها مركز الثقل الى الامام

وقد أفادت المشاهدة فى المشى المعتاد على أرض افقية أن الجذع ينتقل تقريبا على خط مستقيم وأن الانتقال الحاصل له فى الاتجاه العمودى قليل جدا فان متوسط سعة تغير ارتفاع الجذع هو ٣٢ مليمترفيكون تغير مركز الثقل أقل من ذلك حيث كانت حركة الجذع فى الاتجاه العمودى ناتجة عن الانبساط والانقباض المتبادلين للساقين فينتج عن هذا التبادل انتقال مركز الثقل فى اتجاه مضاد وحيث كان مركز الثقل يتحرك فى اتجاه موازللارض فان المركبة العمودية ب للقوة الدافعة تعادل دائما وزن الجسم فهى حينئذ مساوية له ولذا كان من السهل معرفة القوة المقدمة أى المركبة الافقية المقابلة لميل معين للساق الدافعة للجسم الى الامام ويرى أن هذه القوة تشتد باتساع زاوية ميل العضو المحرك

وليست القوة الدافعة قوة مستمرة ولكن مدة انقطاع تأثيرها عبارة عن لحظات متساوية وكذلك المركبة الافقية لها وعلى ذلك فاذا كان الجسم لا يجد مقاومة ما فى سيره فانه يتقدم بسرعة معجلة ولكن مقاومة الارض له تجعل حركته منتظمة لانه حينما تدفع احدى الساقين الجسم الى الامام تسقط على الارض القدم الثانية التى كانت مرتفعة فتجد من الارض مقاومة بها تنعدم قوة التقدم المتولدة بالساق الاولى ويحصل من ذلك وقوف الحركة اذا لم تقم الساق الثانية مقام الاولى فى توليد سرعة جديدة فى الجسم وهى سرعة تنعدم كذلك بسقوط الساق الاولى على الارض التى بارحتها مدة انبساط الثانية وهكذا فيصير بذلك المشى حركة دورية

فالمشى شبيه بحركة منتظمة لعربة مجرورة فيها القوة ثابتة تقاوم مقاومة ثابتة أيضا فان الساقين يتناوبان فى دفع الجسم الى الامام بسرعة حتى ان الزمن الذى يكون فيه مركز الثقل غير متأثر بقوة دفع يصير غير محسوس وكيفية تولد قوة الدفع بفعل الساقين هو أن المفصل الركبى للساق المرتكزة على الارض ينبسط أولا فتصير الساق عبارة عن حامل ثابت للفخذ وهذا الفخذ يدفع الجسم الى الامام ومتى تم انبساط المفصل الركبى أخذ المفصل القصبى الرسغى فى الانبساط فينفصل الكعب عن الارض ثم القدم شيأ فشيأ وكلما انفصل جزء من أخمص القدم عن الارض أحدث تأثيرا دافعا فى جسم الانسان بواسطة الساق فالقوة المؤثرة فى مركز الثقل ليست حينئذ عبارة عن دفعات برهية متوالية بانتظام بل قوة تأثيرها مستمر وشدتها

تكاد تكون ثابتة مدة انبساط العضو السفلى أما اذا انفصلت الساق عن الارض دفعة واحدة بحركة فجئية برهية فان الخطوة تكون أقل سعة والقوة الدافعة أقل شدة فيحصل التقدم ببطء ويحتاج الى مجهود عظيم فى العضلات

٥٦ — تطبيق قانون البندول على المشى — يتميز مشى الانسان بانتظامه وما هذا الانتظام الا لكون حركات الساقين منقادة لقوانين تذبذب البندول ففى الزمن الذى فيه تنبسط الساق المرتكزة على الارض تقصر الساق الثانية بعد أن تصل الى منتهى استطالتها وهذا بانثناء مفصل الركبة وتنفصل عن الارض وتتذبذب من الخلف الى الامام وكل جسم يتذبذب حول محور يمكن تمثيله ببندول مركب زمن تذبذبه كما علمنا متعلق بطوله فالساقان تتحركان واحدة بعد اخرى على التوالى حركات متعاقبة بها يتحرك الجسم بانتظام كانتظام تذبذبات البندول وهذا الانتظام يظهر بتساوى أزمنة الخطا

وفى العادة تكون مدة ذبذبة الساق المرسلة هى مدة انبساط الساق المرتكزة على الارض ففى وقت وصول هذه الى منتهى استطالتها تسقط عديلتها على الارض وتبتدئ فى الانبساط حال كون الثانية تأخذ فى الذبذبة بعد مبارحتها الارض

وانبساط الساق يحصل بسرعة تختلف برغبة الماشى فكلما كان القصد سرعة السير كان احداث تمدد الساق سريعا ولكن زمن الذبذبة الكاملة لا يتغير مادام البندول باقيا على ما كان عليه فينتج من ذلك أن الساق المتذبذبة لا تجد دائما زمنا كافيا لأن تقطع جميع القوس المقابل لذبذبة كاملة حيث ينتهى سيرها وقت انتهاء تمدد الساق المرتكزة على الارض وفى المشى البطىء يكون زمن حركة الانبساط كافيا لان تقطع الساق المتحركة قوس تذبذبها كله بحيث ان الساقين يستقران على الارض معا زمنا محسوسا ففى هذا الوقت يقسم العمودى المار بمركز الدوران أى المار برأس عظم الفخذ الزاوية المتكونة من الساقين الى قسمين متساويين اما اذا كان المشى سريعا فان القوس المقطوع بالساق المتحركة يقصر فى جزئه المقدم فلا يكون العمودى المار بمركز الدوران قاسما للزاوية المتكونة من الساقين فى منتهى تباعدهما الى قسمين متساويين بل يكون أقرب الى الساق المقدمة منه الى الساق الخلفية واذا كان المشى سريعا جدا فان القوس المقطوع بالساق المتحركة لا يقابل الا نصف ذبذبة والساق المتحركة تكون وقت سقوطها على الارض متفقة مع العمودى المار بمركز الدوران وسعة الذبذبة لا تكون أصغر من النصف حيث يلزم أن يكون مركز الدوران محمولا بالساق وقت اتكائها على الارض بواسطة القدم وفى العدو يكون زمن انبساط الساق القارة على الارض

أقل

أقل من زمن نصف ذبذبة الساق المتحركة فينتج من ذلك أنه فى العدو تمر لحظات لا تكون فيها الاقدام ملامسة للارض فيكون فيها الجسم معلقا فى الهواء

ومما يساعد على المشى انخفاض الجذع عن الارتفاع الذى يكون فيه حال الوقوف وهذا يحصل دائما فى المشى السريع والعدو وتأثير هذا الانخفاض يضاد نقص زمن الانبساط بازدياد طول الخطوة لانه متى كان الجذع ومعه محور دوران السوق أسفل ما يكون قصرت الساق فيصير تذبذبها سريعا وازدياد سرعة الذبذبة يقضى بازدياد مقابل له فى القوس المقطوع مدة زمن معلوم بالساق المتذبذبة ونتيجة ذلك ازدياد فى الخطوة وحينئذ فكلما ازدادت سرعة المشى نقص زمن الخطوة لان الساق التى على الارض تنفرد فى زمن أقل والساق المتحركة تتذبذب بأكثر سرعة وفى آن واحد تتسع الخطوة

٥٧ — عمل مركز الثقل فى المشى — تتغير حالة الجذع ومعها مركز الثقل بتغير سرعة المشى فمركز الثقل متى كان محمولا بساق واحدة يكون فى موازنة غير ثابتة و بتأثير الدفع الحاصل من انبساط الساق الموضوعة على الارض فيه يسقط قاطعا القوس دائرة ان لم تدركها الساق المتحركة فتحمله فهذه الساق تتم فى وقت سقوط مركز الثقل حركة ذبذبتها وتصير حاملة للجسم وكلما كان زمن الانبساط والذبذبة قصيرا أى كلما كان المشى سريعا كان لمركز الثقل ميل للسقوط دفعة وهذا هو الداعى لميل الجذع الى الامام كى يسهل بذلك خروج خط التثاقل من القاعدة وهى فى هذه الحالة أخمص القدم الموضوعة على الارض وفى ميل الجذع فائدة أخرى وهى أن يعارض حركة الدوران من الامام الى الخلف التى تحصل فى الجذع بسبب وجوده فى حالة موازنة غير مستمرة فوق محور الدوران مدفوعا بقوة مرتكزة أسفل مركز الثقل فاذا لم يمل الجذع فان العضلات التى تثنى الفخذ فوق الحوض تتكلف منع هذه الحركة فيصير المشى متعبا

وبسبب مقاومة الهواء لحركة التقدم يميل الجذع الى الامام أيضا لان هذه المقاومة تميل لالقاء الجسم الى الخلف وأثناء دفع الجسم الى الامام باحدى الساقين تفعل الساق الثانية ذبذبة من الخلف الى الامام فتتغير حركة التقدم على الخط المستقيم وتحصل فى الجسم حركة دوران على اليمين والشمال بالتوالى حول محوره الطولى لولا حركة الاعضاء العليا التى تمنع هذا التغير والدوران ولذا نرى أثناء ذبذبة احدى الساقين من الخلف الى الامام تحرك الذراع الذى فى جهة الساق المتذبذبة من الامام الى الخلف أى ان الذراع المقابل لاحدى الساقين يتحرك فى اتجاه حركة الساق الاخرى ومن الاهتزاز الحاصل فى الاعضاء العليا تتولد محصلة دوران تتلف المحصلة المضادة لها الحاصلة بالساق المتذبذبة

٥٨ ـ معادلة قوانين المشى ـ ليكن خت و خت َ الساقين حين تكون احداهما مرتكزة على الارض فى وضع عمودى والثانية مكونة مع الاولى الزاوية ت خ ت َ فهذه الثانية تنفرد حال ارتكازها على الارض لتدفع مركز ثقل الجسم الى الامام فالقوة التى تولدها الساق المحركة خت َ تختلف باختلاف زاوية بعد الساقين ت خ ت َ

ولنرمز لهذه الزاوية بالحرف ى للاختصار ففى أى وقت من أوقات الخطوة يلزم ان تكون ذات كبر بحيث تؤثر المركبة الافقية وحدها فى تقدم مركز الثقل الى الامام فتكون اذا المركبة العمودية مساوية لوزن الجسم و فاذا رمزنا لطول الساق العمودية على الارض أى ارتفاع رأس الفخذ على سطح الارض بالحرف له وبالحرف ل لطول الساق المائلة على الارض وبالحرف ع للمسافة ت ت َ أى لطول الخطوة كان فى المثلث القائم الزاوية ت خ ت َ العلاقة الآتية بين الكميات المرموز لها

ل^٢ = ع^٢ + له^٢ ومنها ع = √(ل^٢ ـ له^٢)

وهى علاقة تدل على أنه اذا لم يتغير طول الساق المائلة فطول الخطوة ع يزداد بنقصان الارتفاع له لرأس الفخذ فوق الارض وبمقابلة المثلثين المتشابهين خ ت ت َ و خ ح ء يحدث

له / ع = ب / ح

ب رمز للمركبة العمودية وهى مساوية لوزن الجسم و خ و ح رمز للافقية ومن المتساوية السابقة يستخرج

ح = و × ع / له

ومعنى هذه المعادلة أنه لابد للمركبة العمودية لقوة الانبساط المتولدة بالساق المتحركة من الازدياد كلما ازداد وزن الجسم واتسعت الخطوة وصار طول الساق أقل ولايجاد علاقة بين الكميات المتقدمة وسرعة الخطوة نفرض أن شدة المركبة الافقية ح للقوة الباسطة ثابتة زمن الخطو وان القوة العاملة المتوالدة لا تنعدم بمقاومة الارض الا فى وقت ملامسة الساق المتذبذبة لها وهو الوقت الذى تنتهى فيه حركة انبساط الساق الاخرى ومن ثم تكون القوة المعجلة فى آخر الخطوة قد أحدثت عملا علامته هى

ح ع = ١/٢ ك س^٢

وباستبدال

وباستبدال الكتلة ك بقيمتها $\frac{\text{و}}{\text{ع}}$ يحدث

$$\text{ح}\,\text{ء} = \frac{1}{2}\,\frac{\text{و}}{\text{ع}}\,\text{س}^{2} \quad \text{ومنها} \quad \text{س}^{2} = 2\,\frac{\text{ح}\,\text{ع}\,\text{ء}}{\text{و}}$$

وبوضع قيمة ح المستخرجة من المعادلات السابقة وهى و $\frac{\text{ء}}{\text{ل}}$ يحدث

$$\text{س}^{2} = 2\,\text{ء}^{2}\,\frac{\text{ع}}{\text{ل}} \quad \text{ومنها} \quad \text{س} = \text{ء}\sqrt{\frac{2\,\text{ع}}{\text{ل}}}$$

ومن هـذه المعادلة يتبين أن سرعة مركز الثقل النهائيـة فى الاتجاه الافقى فى آخر كل خطوة تـكون متناسـبة مع طول الخطوة وعلى العكس من الجذر التربيعى لارتفاع راس الفخذ عن الارض

المطلب الثـانى

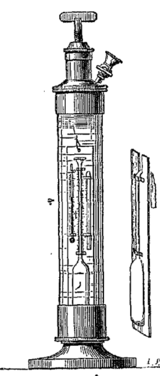
ما يتعلق بالاجسام السائلة

الخواص العموميـــة للاجسام السائلة

٥٩ — حالة السيولة — هى التى فيها جزيئات المادّة تتجاذب بشدّة ضعيفة حتى لا يبقى بعضها مرتبطا ببعض ارتباطا متينا ولذلك كان أقل مجهود كافيا لتغيير مواضعها ولذا كانت كل قوّة مؤثرة فى سائل تحدث فيه نتائج أعظم مما تحدثه بتأثيرها فى جسم صلب فالثقل مثلا يؤثر فى جميع الجزيئات المادية صلبة كانت أو سائلة ولـكنه لا يحدث بتأثيره فى الاولى تغيرا محسوسا فى شكل الاجسام لعـدم قدرته على قهر الجذب الضامّ بعض جزيئاتها البعض ولـكنه يتغلب على المقاومة الضعيفة الحاصلة من قوّة الجذب بين جزيئات السائل وهذا هو السبب فى كون شكل الـكتلة السائلة متعلقا بتأثير التثاقل ولذلك تتشـكل السوائل بشـكل الاوانى التى هى فيها

٦٠ — قابليـة السوائل للضغط — شـكل الاجسام السائلة يتغير بسهولة بسبب حركة جزيئاتها التى ينزلق بعضهـا على بعض بسهولة فليس لهـا شكل مخصوص ولذلك كانت اذا عرّضت لتأثير قوى خارجية لا يحصـل فى حجمها الا تغير خفيف جدّا بالنسبة لما يحصـل من التغير فى حجوم الاجسام الصلبـة وخصوصا الغـازية موضوعة فى الظروف التى وضعت فيهـا

الاجسام السائلة مالم يحصل تغير فى درجة الحرارة اذ قد علمنا أن الاجسام الصلبة اذا ضغطت أو شدّت حصل فى كثافتها ازدياداً ونقصان واضح وليس الامر كذلك فى الاجسام السائلة فان ما يحصل فى حجمها من النقصان بالضغط يسير جدا ويحتاج الى مجهود عظيم ولا يدرك هذا النقصان الا بصعوبة لان الاجسام التى يضغط فيها السائل تنقاد للضغط أكثر من انقياد السائل له بكثير وقد زالت هذه الصعوبة باستعمال أجهزة تسمى بيزومترات اناؤها المضغوط فيه السائل مضغوط من الظاهر بضغط مساو للضغط الواقع على السائل وأحسن هذه الاجهزة بيزومتر (ارستيد) وهو مركب من مستودع اسطوانى الشكل من الزجاج ر (شكل ٣٥) حجمه معلوم يعلوه أنبوبة شعرية مقسمة الى أقسام متساوية السعة منتهية بقمع والمستودع بانبوبته موضوع على لوح من النحاس يحمل ترمومترا معدّا لمعرفة درجة الحرارة وقت التجربة وأنبوبة مسدودا أحد طرفيها منكسة مملوءة بالهواء معدة لمعرفة الضغط فيملأ البيزومتر بالسائل ويوضع فى القمع نقطة من الزئبق يستدل بها على ما يحصل فى حجم السائل من التغير ويدخل الجهاز فى اناء اسطوانى من الزجاج الثخين ج مثبت بجزئه السفلى على قاعدة معدنية وجزؤه العلوى



ش ٣٥

محزوم بحزام من النحاس ذى مكبس يتحرك بواسطة برمة ب (شكل ٣٦) وبواسطة حنفية ر يصب فى الاناء الاسطوانى الماء الى أن يخرج من فتحة جانبية فتسدّ الحنفية ويخفض المكبس فيضغط ماء الاناء وهذا الضغط ينتقل لسائل البيزومتر بالزئبق ونقصان حجم السائل يعلم بالدرجات التى انخفضها الزئبق بالضغط ومن سطح الماء فى الانبوبة الهوائية يعلم هذا الضغط وبقسمة ما نقص من حجم السائل على حجم السائل والضغط معبرا بالجوّ يتحصل عامل الضغط وهو العامل

ش ٣٦

الظاهرى لعدم احتساب ما يحصل فى البيزومتر (المستودع وأنبوبته) من التغير لان هذا الغلاف بسبب الضغط المتساوى الواقع عليه من الظاهر ومن الباطن ينقبض فيرتفع السائل فى الانبوبة الشعرية فينقص من كمية ما انخفض من السائل المضغوط بقدر ما ارتفع منه

وتغير الحجم الحقيقي يكون باضافة انضغاط المستودع الى الانضغاط الظاهرى للسائل وبقسمة الحاصل على الحجم جميعه والضغط يتحصل عامل الانضغاط المحض

وهاك عوامل الانضغاط لبعض السوائل التى عينها (جراسى) على درجة الصفر

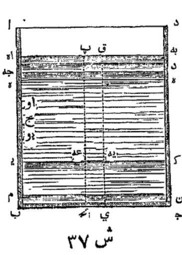
زئبق	٠,٠٠٠٠٠٣
ماء	٠,٠٠٠٠٥٠٢
ايتير	٠,٠٠٠١١١
كؤل	٠,٠٠٠٠٨
كلوروفورم	٠,٠٠٠٠٦

ومن هذه الاعداد يرى أن قابلية انضغاط السوائل ضعيفة جدا والطريقة الوحيدة لحصول نقصان أو ازدياد فى كثافتها تنحصر فى رفع حرارتها أو خفضها وضعف قابلية الانضغاط فى السوائل يفسر بالازدياد العظيم الذى يحصل فى القوة المنفرة المؤثرة بين الجزيئات متى صغرت المسافات بينها فعندما تكون السوائل معرضة للضغط الجوى تكون القوى الجزيئية الجاذبة والمنفرة موازنا بعضها البعض تقريبا فاذا ازداد الضغط تعاظمت شدة القوى المنفرة بقوة فتصير مانعا قويا للقرب بعض جزيئات السوائل من بعض وأما اذا خف الضغط الخارجى الواقع على السائل كما اذا وضع السائل فى وسط عمل فيه الفراغ فان جزيئات الطبقات العليا تنفصل عما تحتها فتصير خارجة عن حدود جذبها فتصير القوى الجاذبة عاجزة عن جعل السائل فى حالة السيولة فيتبخر ويصير غازيا

٦١ — مرونة السوائل — السوائل مرنة واذا كانت نقط الزئبق والماء مثلا اذا سقطت على سطح صلب عادت على نفسها وسترى براهين أخر على هذه المرونة مأخوذة من توصيل السوائل للاصوات ومرونة الاجسام السائلة تامة أى انها تعود عودا تاما الى حجمها الذى كانت عليه قبل الانضغاط متى زال الضغط

٦٢ — قاعدة بسكال وتسمى قاعدة تساوى الضغط — كل ضغط يحصل فى نقطة ما من كتلة سائل فانه ينتقل الى جميع النقط على التساوى وهذه القاعدة انما هى نتيجة قابلية الجزيئات للحركة ولبيان ذلك نقول ان جزيئات الاجسام السائلة كجزيئات الصلبة تميل الى أن تسقط سقوطا عموديا وتسقط فعلا اذا لم تجد ما يمنع حركتها فاذا كانت موضوعة مثلا على سطح مستو يمنع انقيادها القانون التثاقل فانها لا تسقط ولكنها تحدث على هذا السطح ضغطا

متناسبا مع كتلتها فاذا فرضنا اناء كاناء ا د ح ب (شكل ٣٧) محتويا على حجم من سائل يحتوى على عدد عظيم من الجزيئات واعتبرنا انقسام كتلة السائل الى عدة طبقات بعضها فوق بعض به ا ه د جه ه ه الخ فمن الواضح ان الطبقة الاولى به ا ه تضغط بجميع وزنها الطبقة د جه التى تحتها وان الطبقة الثالثة ه ه تحمل وزن الطبقتين معا وهكذا الى الطبقة الاخيرة م ن فانها تحمل وزن جميع الطبقات التى تعلوها والضغط الواقع على قعر الاناء ب ح يكون مساويا لوزن كتلة السائل كلها به ا ه م ن وكل طبقة من الطبقات


ش ٣٧

الكائنة فى وسط السائل تحمل ضغطا يساوى وزن الطبقات التى تعلوها فالطبقة ك ي مثلا تحمل وزن جميع السائل الذى يعلوها به ا ه ك ي واذا لم نعتبر الطبقة كلها واعتبرنا جزأ منها كالجزء يه عه فان هذا الجزء لا يحمل الا وزن عمود السائل الذى يعلوه ق پ يه عه والضغط الحاصل على الجزء ى مح من قعر الاناء هو وزن العمود ق پ ى مح

وبذلك يرى أن كل جزء كائن فى داخل السائل يحمل ضغطا متجها من أعلى الى أسفل مساويا لوزن الصف العمودى للجزيئات التى تعلوه ونعلم أن من أهم صفات السوائل تحرك جزيئاتها بعضها بالنسبة لبعض فى جميع الاتجاهات بتأثير أى قوة ولذلك ترى الجزء عه لكونه مضغوطا بصف الجزيئات التى تعلوه پ عه يميل الى الانزلاق فى الاتجاه يه عه كما يميل الى الانزلاق فى الاتجاه عه پ و عه مح ولكنه ممنوع عن الحركة ومضطر للبقاء فى مكانه بمقاومة الجزيئات المجاورة له فيحدث حوله فى جميع الاتجاهات ضغطا مساويا للواقع عليه وبهذا السبب كان كل ضغط يحصل فى نقطة ما من كتلة سائل ينتقل فى جميع الاتجاهات على التساوى وحيث ان لكل فعل ردا يساويه فان الجزيئات المجاورة للجزء الضاغط فى جميع الاتجاهات تحدث فيه ضغطا مساويا لضغطه وعلى ذلك فالجزء عه مضغوط من جميع الاتجاهات بقوة تساوى وزن عمود السائل پ عه ومن ذلك يستنتج كلية مهمة هى كل جزء من سائل فى حالة موازنة يكون مضغوطا فى جميع الاتجاهات ولنعتبر الآن نقطة من جدران الاناء كالنقطة او فهذه النقطة بناء على ما قررناه تحمل ضغطا عموديا على سطح الجدار مقدار وزن الصف اه او من الجزيئات الكائنة فوق الجزء المجاور لهذه النقطة من الجدار والسطح او بو يحمل كذلك ضغط اه ج وهو وزن عمود من السائل قاعدته

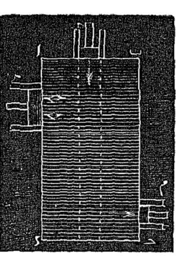
السطح

السطح أو بو نفسه وارتفاعه اه ج أى المسافة بين سطح السائل و بين مركز ثقل السطح وما يصدق على جدر الاناء يصدق أيضا على أى جزء كان فى كتلة السائل

ويحقق ضغط السوائل على جدر الاوانى التى هى فيها بالتجربة بأن يثقب فى جدار الاناء ثقوب فيمر السائل من كل ثقب فيكون السلسول أولا عموديا على الجزء المثقوب ثم ينثنى بتأثير التثاقل فالجزيئات السائلة حينئذ الملامسة للجدار جانبية كانت أو غير جانبية تحدث فيها ضغطا عموديا وحيث ان الضغط يحصل فى جميع الاتجاهات فبالضرورة يحصل من أسفل الى أعلى أيضا ويستدل على وجوده بان تؤخذ أنبوبة متسعة من الزجاج و يسد طرفها السفلى بقرص مستو يمر من وسطه خيط به يجذب ثم تغمر هذه الانبوبة فى الماء فيحصل على السطح السفلى ضغط يصير به القرص منطبقا على فتحة الانبوبة بحيث يتأتى ارسال الخيط ولا يسقط القرص

ولتعيين مقدار هذا الضغط عملا يصب الماء فى الانبوبة شيأ فشيأ فيشاهد سقوط القرص متى صار سطح الماء داخل الانبوبة وسطح الماء خارجها فى مستو واحد و بهذا يتبين أن الضغط الواقع على السطح من أسفل الى أعلى مساو لوزن عمود أسطوانى من السائل قاعدته هذا السطح وارتفاعه ارتفاع السائل فوقه

ولنفرض الآن اناء كاناء ا ب ح ء (شكل ٣٨) مغلقا من جميع الاتجاهات استبدل فيه جزء من جداره بمكبس بحيث ان هذا المكبس يدخل باحكام فى الفتحة التى جعلت وأنه وضع على هذا المكبس وزن هـ فوضع الوزن هـ على المكبس كوضع عمود من السائل وزنه هـ فوق ذلك الجزء ومن البين أن كل سطح فى السائل مساو لسطح هذا الجزء فانه يحمل زيادة على وزن عمود السائل الذى يعلوه ضغطا يساوى هـ وكذلك يكون الضغط الواقع على الجدر الجانبية للاناء حيث ان الضغط ينتقل الى جميع الاتجاهات على التساوى فالسطح الموفق عليه مكبس م يكون مضغوطا من



ش ٣٨

الداخل الى الخارج (بقطع النظر عن ضغط وزن السائل) بضغط يساوى هـ فيحتاج هذا المكبس الى قوة تضغط من الخارج الى الداخل كى يبقى فى مكانه وتكون هذه القوة مساوية للضغط هـ الذى انتقل بالسائل هذا عدا ما يلزم لموازنة وزن السائل الضاغط على المكبس

فان كانت سعة السطح ضعف سعة الجزء المتقدم بدل أن يكون مساويا له كان الضغط الواقع عليه هو الضعف أى ٢ هـ وان كان ثلاثة أمثاله كان الضغط ٣ هـ وقصارى القول أنه فى حالة الموازنة تكون الضغوط الواقعة على أجزاء متساوية مهما كانت متناسبة مع مسطح هذه الاجزاء وعلى ذلك اذا كان و ، وَ الضغوط الواقعة على سطوح مستوية مسطحها س ، سَ يكون

$$\frac{و}{وَ} = \frac{س}{سَ} \qquad (١)$$

وهذه معادلة يمكن وضعها فى هذه الصورة

$$\frac{و}{س} = \frac{وَ}{سَ} \qquad (٢)$$

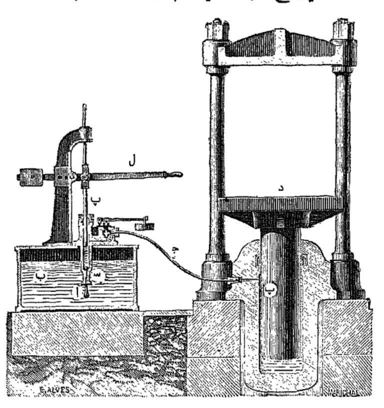
وهذه الاخيرة تقتضى أن نسبة الضغط الحاصل على سطح الى هذا السطح كمية ثابتة وبعبارة أخرى الضغط الحاصل على وحدة السطوح كمية ثابتة ويستنتج من المعادلة (١) امكان استعمال قوة مهما كان صغرها لموازنة قوة مهما كانت وذلك باستعمال مكابس مناسبة الكبر ولكن ينبغى أن يلاحظ أن هذه الطريقة تقهر بها المقاومة العظيمة بقوة صغيرة ضعيفة غير أن المسافة التى تقطعها المقاومة أقل بكثير من المسافة التى تقطعها القوة والنسبة بين المسافة المقطوعة بالمقاومة الى المقطوعة بالقوة هى عين النسبة بين المقاومة والقوة فيقال هنا أيضا ما قيل فى الروافع من أن ما يكتسب من القوة يفقد فى المسافة أو السرعة

٦٣ — المعصرة المائية — هذه المعصرة مؤسسة على قاعدة (بسكال) التى ذكرناها فبواسطة اناء مغلق محتوعلى سائل يمكن موازنة قوة جسيمة مرتكزة على مكبس عظيم فى الاناء باستعمال قوة صغيرة مرتكزة على مكبس آخر

وهى تتركب من جسمى طلومبة (شكل ٣٩) أحدهما صغير والآخر كبير متصلين بانبوبة حـ تحمل حنفية يستفرغ بها الماء عند الاحتياج ويتصل جسم الطلومبة الصغير بالانبوبة بواسطة صمام ينفتح من الداخل الى الخارج ويتصل هذا الجسم أيضا بانبوبة جذب ذات صمام س ينفتح من الخارج الى الداخل ومن مكبس پ تحركه رافعة ل فيتحرك باحتكاك لطيف داخل جسم الطلومبة الصغير ومن حوض ب مملوء ماء تنغمر فيه أنبوبة الجذب فبتحريك المكبس پ ينفتح الصمام س المتصل بانبوبة الجذب فيرتفع الماء فى جسم الطلومبة وفى عودة المكبس يغلق هذا الصمام حيث انه ينفتح من الخارج الى الداخل فيمتنع الماء من العود الى الحوض بدفع هذا المكبس له فيفتح صماما متصلا بالانبوبة حـ ويدخل فى جسم الطلومبة الكبير ولا يخرج هذا الماء من هذا الجسم عند رفع المكبس پ لغلق الصمام والماء الذى دخل

فى

فى جسم الطلومبة الكبير يرفع مكبسا كبير الحجم پ وهذا المكبس يحمل قرصا د مثبتا



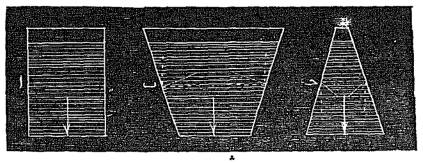
ش ٣٩

فيه وعليه توضع الاجسام المراد عصرها وهذا القرص يهتدى فى سيره بعمد مثبتة تنتهى بقرص متين به وبالقرص الاول يحصل عصر وضغط الاجسام

٦٤ — ضغط السائل فى حالة موازنة على جزء من جدار الاناء — الضغط الواقع من سائل فى حالة موازنة على جزء مّا من جدار الاناء الشامل له أيا كان الضغط يكون دائما عموديا على هذا الجزء لانه لو كان هذا الضغط يميل لتحلل الى قوتين احداهما عمودية والثانية فى اتجاه المستوى المار بجزء الجدار الواقع عليه الضغط وهذه الاخيرة تحدث انزلاق الجزيئات الضاغطة على الجدار أى تحدث اختلالا فى الموازنة .

٦٥ — ضغط السوائل على قعور الاوانى — الضغط الواقع من سائل ذى وزن على القعر الافقى للاناء الذى هو فيه يساوى وزن عمود رأسى من هذا السائل قاعدته قعر الاناء وارتفاعه المسافة بين هذا القعر وسطح السائل وهذه القاعدة التى هى نتيجة قاعدة (بسكال) تدل على أن الضغط الواقع من سائل على قعر اناء غير متعلق بشكل هذا الاناء فاذا اعتبرنا ثلاثة أوان ا ب ح أشكالها مختلفة (شكل ٤٠) وممتلئة بالماء الى ارتفاع واحد فى كل منها وكانت قعورها متساوية فان الضغط الواقع من السوائل على قعورها يكون واحدا فيها يساوى

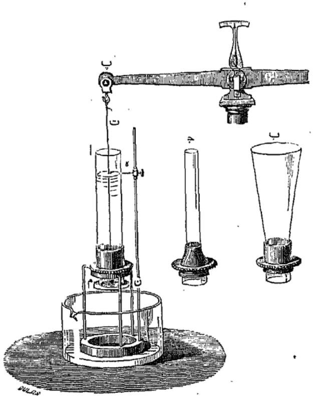
لـ ى ف اذا رمزنا بالحرف ى لقعر الاناء وبالحرف ف لارتفاع السائل فيه وبالحرف لـ



ش ٤٠

لكثافته فهذه كميات ثلاث متحدة فى الاوانى الثلاثة فينتج من ذلك أن الضغط الواقع على قاعدة الاناء (ا) مساو لوزن السائل الموجود فيه وان الضغط الحاصل على قعر الاناء ب أصغر من وزن ما فيه من السائل وان الضغط الواقع على قعر الاناء ح أكبر من وزن السائل الذى فيه وحينئذ فالضغوط الواقعة على قعور الاوانى بما فيها من السوائل تكون مساوية أو أكبر أو أصغر من وزن السوائل بحسب الظروف

ويفهم ذلك بتحليل الضغوط العمودية على جدران الاوانى الى افقى ورأسى أما الاول فيعدم بعضه بعضا اثنين اثنين وأما الرأسى فيؤثر بحسب اتجاهه تارة فى اتجاه الضغط على القعر وتارة فى اتجاه مضاد له



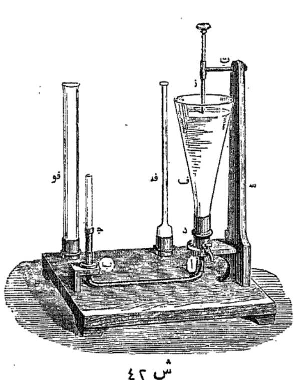
ش ٤١

٦٦ — تحقيق قاعدة الضغط الواقع على قعور الاوانى عملا — لتحقيق هذه القاعدة يستعمل جهاز (ماسون) وهو يتركب من ثلاثة أوان (شكل ٤١) ا و ح و ب لاقعر لها مختلفة فى الشكل ولكن الفتحة السفلى التى لكل واحدة منها متحدة الاتساع وكل واحدة منها يمكن وضعها على حامل معدنى بواسطة قلاووظ فيوضع أحد هذه الاوانى وليكن اناء ا مثلا على الحامل وتغلق فتحته السفلى بالقفل م ى وهو قرص من زجاج محكم الاستواء يعلق بالخيط ت

فى

فى الطرف ب لذراع ميزان ثم يوضع فى كفة الميزان التى فى طرف الذراع الآخر صنج حتى يصير القفل محكما على فتحة الاناء ثم يصب الماء باحتراس فى الاناء الى أن ينفصل القفل عن الفتحة قليلا فيسيل بعض نقط من السائل ففى هذا الحين يكون الضغط الواقع من أعلى الى أسفل على القعر المتحرك وهو القفل مساويا للقوة الضاغطة على القفل لبقائه ملامسا لحافة الفتحة فيميز سطح الماء فى هذا الاناء بواسطة علامة يمكن تحريكها حول ساق عمودية ثم يرفع الاناء ا ويستعاض بالاناء ح و ب على التوالى من غير تغيير فى وضع العلامة فيشاهد انفصال القفل فى كل تجربة حينما يصل سطح الماء الى العلامة واذا فالضغط واحد على قعور الاوانى الثلاثة

ويتوصل بجهاز (هلدات) الى هذه النتيجة عينها وهو (شكل ٤٢) يتركب من أنبوبة اب منحنية مرتين انحناء قائم الزاوية محتوية على الزئبق طرفها القصير يحمل طوقا بحنفية ذا برمة عليه يمكن تركيب أوان مختلفة الشكل ف فه فو ومن أجل ذلك كانت قعور هذه الاوانى واحدة هى سطح الزئبق فى الفرع القصير د للانبوبة ولعمل التجربة بهذا الجهاز يركب أحد هذه الاوانى ف ثم يصب فيه الماء الى أن يصل الى ارتفاع معين بساق دقيقة الطرف ذ فضغط الماء يرفع الزئبق فى الفرع الآخر من الانبوبة الى نقطة ولتكن جـ مثلا تميز بقطعة



ش ٤٢

معدنية تتحرك اذا اريد منها على هذا الفرع ثم يرفع الاناء ف ويستبدل بغيره ويصب الماء الى أن يصل فى ارتفاعه الى ماوصل اليه فى الانبوبة ف فيشاهد أن الزئبق وصل الى الارتفاع ح عينه وكذا لو استبدل الاناء الثانى بالثالث

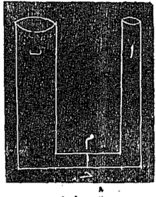
وحينئذ فالضغط الواقع على سطح الزئبق واحد فى التجارب الثلاث ولو كانت الاوانى مختلفة شكلا

٦٧ — استواء سطح السائل فى حالة الموازنة — سطح السائل فى حالة الموازنة يكون مستويا افقيا ولبيان ذلك نفرض سائلا فى اناء سطحه غير مضغوط (شكل ٤٣) فنقول ان هذا السائل لا يكون فى حالة الموازنة الا اذا كان السطح مستويا افقيا لاننا لو اعتبرنا جزأين صغيرين متساويين كائنين أسفل هذا السطح فى مستو أفقى واحد لكان الضغط الواقع عليهما واحدا وقد علمنا أن الضغط الواقع من سائل يتعلق بالمسافة بين السطح المضغوط وسطح السائل فليكون الضغط الواقع على الجزء م مساويا للواقع على الجزء مَ يلزم أن تكون المسافة بين م ن عين المسافة بين مَ نَ أى يكون مَ و م فى مستو أفقى واحد هذا اذا اعتبرنا سطوحا قليلة الاتساع أما اذا كانت السطوح متسعة بحيث ان قوى التثاقل العاملة فى الجزيئات غير متوازية بل كلها ملومة نحو مركز الارض فتكون كل نقطة من السطح عمودية على القوة المؤثرة فيها وبذا يكون سطح السائل عبارة عن جزء من دائرة

ش ٤٣

وما قدمناه ينطبق أيضا على السوائل الغير القابلة للمزج اذا وضعت فى اناء واحد كالزئبق والماء والزيت معا فمجموع هذه السوائل لا يكون فى حالة موازنة الا اذا كان أثقلها أسفلها وكان سطحها المطلق وسطوح انفصالها أفقية

٦٨ — موازنة السوائل فى الاوانى المستطرقة — فى الاوانى المستطرقة تكون السطوح المطلقة للسوائل فى مستو أفقى واحد وذلك انما هو نتيجة قاعدة (باسكال) لاننا لو اعتبرنا اناءين ا و ب (شكل ٤٤) موصلين بموصل فكل جزئ من الجزيئات الكائنة فى أنبوبة التوصيل لا يكون فى حالة موازنة الا اذا كان مضغوطا من كل جهة بضغط متساو وهذا الضغط لا يتعلق الا بالسطح المضغوط وارتفاع السائل فاذا فرضنا تصلب جزء من السائل كالجزء م ح فهذا الجزء يكون فى موازنة متى كان الضغط الواقع على أحد سطحيه من السائل الذى فى الاناء ا يساوى الواقع على السطح الآخر من السائل الذى فى الاناء ب وحيث ان السطحين متساويان فالسائلان فى الاناءين متساويان ارتفاعا

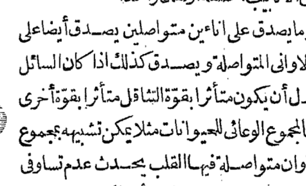


ش ٤٤

وتتحقق هذه القاعدة بالجهاز الآتى (شكل ٤٥) وهو اناء ف من زجاج يتصل به

أنبوبة

أنبوبة د ه مسدودة الطرف يمكن أن يركب عليها أنابيب مختلفة الشكل كالانابيب فه ب بو فاذا وضع سائل فى الاناء ف فانه يرتفع فى الانابيب المختلفة ارتفاعا واحدا

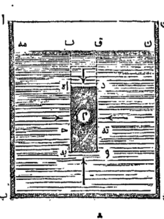


ش ٤٥

وما يصدق على اناءين متواصلين يصدق أيضا على الاوانى المتواصلة ويصدق كذلك اذا كان السائل بدل أن يكون متأثرا بقوة التثاقل متأثرا بقوة أخرى فالمجموع الوعائى للحيوانات مثلا يمكن تشبيهه بمجموع أوان متواصلة فيها القلب يحدث عدم تساوى فى الضغط احداثا دوريا وذلك بأخذه كمية من الدم الوريدى ودفعها بقوة الى الشرايين فدوران الدم انما هو بسبب كون الضغط فى مبدا المجموع الشريانى أكثر من الضغط الحاصل فى الطرف الآخر للمجموع الوريدى لأن الضغط فى الاوعية الدموية يميل لان يتساوى فى جميع النقط كما يحصل ذلك فى الاوانى المستطرقة بعضها ببعض سواء بسواء وبالجملة فان القوة المحدثة لحركة الدم تنحصر فى اختلال الموازنة للسائل والدورة انما هى اعادة الموازنة

٦٩ — قاعدة ارشميدس — رأينا أن جزيئات أى سائل يضغط بعضها على بعض وعلى جدر الاوانى التى هى فيها ضغطا هو عين الواقع عليها نفسها وتسلك هذا المسلك بالنسبة للاجسام الصلبة الموضوعة فى السائل

والضغط الواقع على نقطة من جسم مغمور فى سائل يتعلق بارتفاع السائل فوق هذه النقطة فالسطح العلوى للجسم م مثلا (شكل ٤٦) يتحمل ضغطا مساويا لوزن العمود د ا ه ن ب والسطح السفلى و به منضغط من أسفل الى أعلى بقوة تساوى وزن العمود و به ن ب وكذلك كل نقطة من السطوح الجانبية كالنقطة ح و ته فانها تتحمل ضغطا كبره معين بالمسافة بين هذه النقطة وسطح السائل وهذه الضغوط الجانبية كالحاصلة على السطح العلوى والسفلى عمودية على الجزء المضغوط

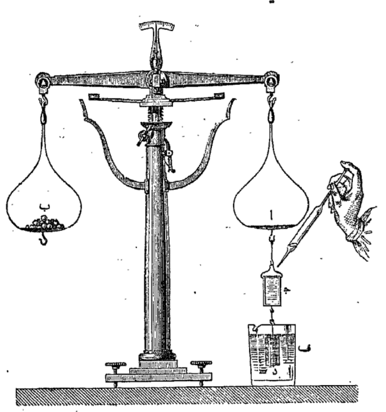


ش ٤٦

فينتج من ذلك أن الضغوط الجانبية يوازن بعضها بعضا اثنين اثنين فلا يبقى الا الضغطان الحاصلان على سطحى الجسم العلوى والسفلى وحيث ان هذين الاخيرين متضادان فى الاتجاه مختلفان فى الكبر

فحصلتهما تساوى الفرق بينهما متجهة من أسفل الى أعلى فتؤثر فى اتجاه مضادّ للتثاقل وتحدث فى وزنه فقدا مساويا بالضبط والاحكام لوزن ما أزاغه الجسم من السائل وحينئذ يمكن القول بطريقة عامة ان كل جسم غمر فى سائل يفقد من وزنه بقدر ما أزاغه الجسم من هذا السائل وهذه هى قاعدة (ارشميدس) والقوّة التى تميل لرفع الجسم هكذا تسمى قوّة الدفع ونقطة ارتكاز هذه القوّة هى مركز ثقل السائل المزاغ ولذلك يفصح احيانا عن قاعدة (ارشميدس) بأن كل جسم غمر فى سائل يندفع بقوة مساوية فى الكبر لوزن ما أزاغه الجسم من السائل

وتحقق هذه القاعدة بأن تؤخذ اسطوانة معدنية مصمتة د (شكل ٤٧) وأخرى مجوّفة ح مفتوحة من أعلى سعتها مساوية لحجم المصمتة الظاهر بالاحكام وتعلق المصمتة فى المجوّفة والمجوفة تحت احدى كفتى الميزان المائى ا مثلا وفى الكفة الاخرى ب يوضع عدل



ش ٤٧

بحيث يصير عاتق الميزان أفقيا ثم يرفع العاتق ويوضع تحت الاسطوانة اناء مملوء ماء وبعد ذلك يخفض العاتق بحيث تنغمر الاسطوانة المصمتة فى الماء فيشاهد اختلال موازنة الميزان وتعود الى ما كانت عليه بملء الاسطوانة المجوفة بالماء كلها أو جزء منها بقدر ما هو مغمور من الاسطوانة المصمتة فى الماء فاذا كانت هذه مغمورة كلها فى الماء فان عاتق الميزان لا يصير أفقيا

أفقيا كما كان قبل غمر الاسطوانة فى الماء الا اذا ملئت المجوّفة كلها بالماء

٧٠ — الاجسام الطافية على السوائل — كل جسم غمر فى سائل يجد منه دفعا الى أعلى أى فى اتجاه مضاد للتثاقل ومساو فى الشدّة لوزن حجم السائل الذى أزاغه الجسم وكثافة الجسم امّا أن تكون ككثافة السائل الذى غمر فيه واما أن تكون أكبر أو أصغر فان كانت كثافته ككثافة السائل فانه يبقى فى المكان الذى وضع فيه من السائل لا يرتفع ولا ينخفض فهو يسلك مسلك كتلة السائل التى حل محلها وان كانت كثافته أكبر من كثافة السائل فانه يسقط فى قعره لان وزنه يكون غالبا على قوّة الدفع وان كانت كثافته أقل من كثافة السائل فانه يرتفع على سطح السائل لان قوّة الدفع تكون زائدة عن وزنه ومقدار زيادة قوّة الدفع عن وزن الجسم هو الفرق بين وزن الجسم ووزن ما أزاغه من السائل وكلما برز شئ من الجسم عن سطح السائل المغمور فيه قل حجم المغمور من هذا الجسم فى السائل فتقل قوة الدفع حيث انها تساوى دائما وزن السائل الذى أزاغه الجزء المغمور من الجسم الى أن تصير قوة الدفع مساوية لوزن الجسم فيصير الجسم فى حالة موازنة سابحا فى هذا الوضع على سطح السائل فالجسم السابح على سطح سائل يزيغ حينئذ حجما من هذا السائل وزنه مساو لوزن الجسم وبعبارة أخرى وزن الجسم السابح على سطح سائل هو وزن السائل الذى حل محله الجزء المغمور من الجسم

٧١ — مركز الدفع والموازنة المستمرة — متى كانت كثافة الجسم مساوية لكثافة السائل المغمور فيه فان الجسم لا يميل للارتفاع ولا للسقوط بيد أنه يتفق أن لا يبقى ساكنا فى السائل بل يتحرك حول محور أفقى وبيان ذلك أن الموازنة لا توجد الا اذا كانت نقط ارتكاز القوى فى خط عمودى واحد ونقطة ارتكاز وزن الجسم هى مركز ثقله ونقطة ارتكاز قوّة الدفع هى مركز حجم السائل المزاغ فيلزم لكون الجسم فى حالة موازنة أن تكون هاتان النقطتان فى خط عمودى واحد

فاذا كان الجسم المغمور فى السائل متجانسا فان هاتين النقطتين تكونان منطبقتين لان مركز ثقل الجسم المتجانس يتعلق بشكله لا بمادته ففى هذه الحالة يكون الجسم المغمور فى موازنة متعادلة كيف كان وضعه فى السائل

أما اذا كان الجسم غير متجانس فان مركز ثقله لا ينطبق مع مركز الدفع فلا تكون شروط الموازنة التى ذكرناها متوفرة دائما فان كان مركز الثقل ومركز الدفع فى خط عمودى واحد فان الجسم يكون فى حالة موازنة وهذه الموازنة تكون مستمرة أو غير مستمرة بحسب وضع احدى النقط

بالنسبة للاخرى فان كان مركز ثقل الجسم فى الخط العمودى المار بمركز الدفع وكان الاول تحت الثانى فان الموازنة تكون مستمرة وفى هذه الحالة اذا أميل الجسم عن وضعه رجع اليه ثانيا وان كان مركز ثقله أعلى نقطة الدفع فان الجسم اذا أميل عن وضعه لا يرجع اليه بل يستمر متحركا الى أن يصير فى وضع تكون فيه الموازنة مستمرة وهذه الشروط هى التى تلزم أيضا ليكون الجسم الطافى على سطح السائل فى حالة موازنة فالجسم الطافى اذا وضع على سطح السائل بقى فى الوضع الذى هو فيه متى كان مركز ثقله أسفل مركز الدفع وعلى هذا الاساس تصنع السفن فان الشرط الضرورى فيها هو عدم انقلابها بأسباب امالتها عن حالة موازنتها ومن البين أن سير السفن يكون أقل اضطرابا كلما كان مركز ثقلها أكثر انخفاضا بالنسبة لمركز الدفع ولا توجد هذه الشروط فى الحيوانات السابحة مع ان كيفية العوم فى هذه الحيوانات مؤسسة على القواعد عينها فمركز الثقل عند هذه الحيوانات يكون أعلى من مركز الدفع وبذلك تكون فى حالة موازنة غير مستمرة فيستدعى ذلك منها مجهودات عضلية مستمرة لحصول الموازنة ومن البين أن هذه الحيوانات اذا سبحت وهى على ظهرها كانت موازنتها أكثر ثباتا

الوزن النوعى والكثافة

الوزن النوعى لجسم هو النسبة الكائنة بين وزن هذا الجسم والحجم الشاغل له وبعبارة أخرى هو وزن وحدة الحجم منه

وكثافة الجسم هى النسبة بين كتلة الجسم والحجم الشاغل له أى أنها كتلة الحجم المساوى للوحدة منه

فمدلول الوزن النوعى هو محصلة تأثير الثقل الحاصل فى جزيئات حجم من الجسم يساوى الوحدة ومدلول الكثافة كمية المادة أى عدد الجزيئات الكائنة فى حجم من الجسم يساوى الوحدة ومن ذلك يتبين لك الفرق بين معنى الكثافة والوزن النوعى ومع ذلك يستعملهما علماء الطبيعة فى مقام واحد لانه بسبب تناسبهما تكون الاعداد الدالة عليهما واحدة وحيث ان وزن الجسم ليس الا محصلة التأثير الحاصل فى الجزيئات المادية المركبة للجسم فاذا كان الجسم متجانسا أى كانت الجزيئات متوزعة بانتظام وكانت المسافات بينها واحدة كان تأثير التثاقل متناسبا مع المسافة المشغولة بالجزيئات أى مع حجم الجسم

وعلى ذلك اذا كان ن وزنا لجسم حجمه سنتيمتر مكعب كان الوزن و لهذا الجسم نفسه وحجمه يساوى ح سنتيمترا متعينا بالنسبة الآتية

ن : و :: ١ : ح

ومن

ومن هــذه النســبة تستخرج المعادلة البسـيطة الآتيــة

$$\text{و} = \text{ن}\,\text{ح} \qquad (1)$$

وهى معادلة أساسـية رابطة بين وزن الجسم وحجمه وكثافته أو وزنه النوعى ويستدل منها أولا على أن وزن الجسم يساوى حاصـل ضرب حجمه فى كثافته وثانيا على أن كثافة الجسم تساوى وزنه مقسوما على حجمه $\text{ن} = \frac{\text{و}}{\text{ح}}$ وثالثا على أن حجم الجسم يساوى وزنه مقسوما على كثافته $\text{ح} = \frac{\text{و}}{\text{ن}}$

ويستدل من هــذه المعادلة أيضا على أنه اذا تساوى حجم جسمين كانت كثافتهما متناسـبة مع وزنهما واذا تساوى وزنهما كانت كثافتهما على العكس من حجمهما واذا تساوت كثافتهما كان وزنهما بنسبة حجمهما الاثنال واخذنا جسما وزنه $\text{و}'$ وكثافته $\text{ن}'$ وحجمه $\text{ح}'$ لكان $\text{و}' = \text{ن}'\,\text{ح}'$ (٢) وبمقارنة المعادلة (١) بالمعادلة (٢) بعد جعل $\text{ح} = \text{ح}'$ يحدث

$$\frac{\text{و}}{\text{و}'} = \frac{\text{ن}}{\text{ن}'} \quad \text{وبعد جعل} \quad \text{و} = \text{و}' \quad \text{يحدث}$$

$$\frac{\text{ن}}{\text{ن}'} = \frac{\text{ح}'}{\text{ح}} \quad \text{وبعد جعل} \quad \text{ن} = \text{ن}' \quad \text{يحدث}$$

$$\frac{\text{و}}{\text{و}'} = \frac{\text{ح}}{\text{ح}'}$$

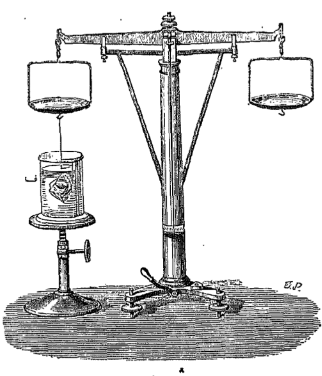
وحيث كان العدد ح الدال على حجم الجسم هو عين العدد د الدال على وزن حجم الماء المقطر الذى فى درجة ٤ + الذى أزاغه الجسم لان كل سنتيمتر مكعب من الماء المقطر يسـاوى جراما واحدا فالمعادلة $\text{ن} = \frac{\text{و}}{\text{ح}}$ تصير $\text{ن} = \frac{\text{و}}{\text{د}}$ ومنها يؤخذ تعريف آخر للوزن النوعى وهو أن الوزن النوعى لجسم صلب أو سائل هو النسـبة بين وزن الجسم و وزن حجم من الماء المقطر الذى فى درجة ٤ + مساو لحجمه ومن ذلك يتبين أنه لمعرفة كثافة جسم ينبغى معرفة وزن جزء منه ومعرفة حجم من الماء المقطر الذى فى درجة ٤ + مساو لحجم هذا الجزء أو وزن حجم من هــذا الماء مساو لحجم هــذا الجزء ومما ينبغى ملاحظته هو أن كثافة الجسم تختلف باختلاف درجة الحرارة التى يكون عليها لان الحرارة تزيد حجم الجسم من غير أن يحصل تغير فى وزنه ولذلك كان من الضرورى الايماء الى درجة الحرارة التى عليها أخذت كثافة الجسم

وقد اصطلح على أنه اذا أشـير الى كثافة جسم ولم يشر الى درجة الحرارة التى أخـذت عليها كانت هــذه كثافة الجسم ودرجة حرارته صفر ودرجة الماء ٤ + فمثلا اذا قيل ان كثافة الزئبق ١٣٫٥٩٦ كان معنى ذلك أن السنتيمتر المكعب من الزئبق فى درجــة حرارة صفر

يزن ١٣٫٥٩٦ جم حالة كون السنتيمتر المكعب من الماء المقطر ودرجة حرارته ٤ + يزن ١٫٠٠ جم

٧٢ — طرق تعيين كثافة الاجسام الصلبة والسائلة — لانذكر فى هذا المبحث الا طرق تعيين كثافة الاجسام الصلبة والسائلة أما تعيين كثافة الاجسام الغازية فسيذكر فى محله ولتعيين كثافة الاجسام الصلبة والسائلة ثلاث طرق لابد فى كل منها من عمليتين تعيين وزن الجسم المراد معرفة كثافته و وتعيين وزن حجم الماء د المساوى لحجم الجسم

٧٣ — طريقة الميزان المائى (١) تعيين كثافة الاجسام الصلبة — يعلق الجسم بسلك من البلاتين فى احدى كفتى الميزان (شكل ٤٨) ويوضع فى الكفة الثانية أثقال الى أن تحصل الموازنة ثم يرفع الجسم ويوضع بدله صنج توازن الاثقال فيحصل بذلك على وزن الجسم و بطريقة الوزن المزدوج ثم يعلق الجسم ثانيا فى كفة الميزان ويغمر فى الماء المقطر فتزول الموازنة ولاعادتها يلزم وضع صنج وزنها د فهذا الوزن الاخير هو وزن حجم الماء المساوى لحجم الجسم وخارج قسمة $\frac{و}{د}$ هو كثافة الجسم



ش ٤٨

(٢) تعيين كثافة الاجسام السائلة — يعلق فى احدى كفتى الميزان كرة من الزجاج قد وضع فيها قليل من الزئبق حتى لا تطفو على سطح السائل اذا غمرت فيه ويوضع فى الكفة الثانية عدل به تحصل موازنة الميزان ثم تغمر الكرة فى السائل ويعين الوزن و اللازم لحصول الموازنة ثم تغمر فى الماء ويعين الوزن د اللازم لحصول موازنة الميزان أيضا فالوزن و و د وزنا حجمين متساويين من السائل والماء والكثافة هى خارج قسمة $\frac{و}{د}$

٧٤ — طريقة الدورق (١) الاجسام الصلبة — لتعيين كثافة الجسم الصلب بهذه الطريقة يستعمل دورق صغير (شكل ٤٩) فوهته مصنفرة ذات غطاء مجوف مصنفر أيضا يعلو هذا الغطاء أنبوبة دقيقة منتهية بقمع وعليها علامة خطية ت

فيوضع

فيوضع الجسم المراد معرفة كثافته والدورق مملوء ماء الى العلامة الخطية فى احدى كفتى الميزان وبعد حصول موازنة الميزان بوضع عدل فى الكفة الثانية يرفع الجسم ويوضع محله صنج بها تعود الموازنة فما وضع من الصنج بدل الجسم لحصول الموازنة هو وزن الجسم و ثم يرفع الوزن ويوضع الجسم فى الدورق ويرفع ما علا من الماء عن العلامة الخطية وبذلك يكون قد خرج من الدورق مقدار من الماء حجمه مساو لحجم الجسم فتزول موازنة الميزان وما وضع من الصنج بجانب الدورق لاعادة الموازنة هو وزن حجم الماء د المساوى لحجم الجسم وبقسمة و على د تحصل كثافة الجسم

ش ٤٩

فان كان الجسم الصلب مسحوقا وجب وضع الدورق بعد وضع المسحوق فيه تحت ناقوس الآلة المفرغة لطرد الكرات الهوائية التى يجذبها المسحوق معه (٢) الاجسام السائلة يستعمل لهذه العملية دورق من زجاج (شكل ٥٠) يختلف قليلا عن الدورق المستعمل لتعيين كثافة الاجسام الصلبة مكوّن من مستودع اسطوانى ينتهى بانبوبة شعرية مرسوم عليها علامة خطية ا تنتهى بقمع فتحته مصنفرة وغطاؤه كذلك

فيملأ الدورق ماء الى العلامة الخطية ويوضع فى احدى كفتى ميزان وفى الكفة الثانية عدل به تحصل الموازنة ثم يفرغ الدورق ويجفف ويوضع فى الكفة ثانيا فلا تحصل الموازنة وعودتها تحتاج الى وضع صنج د هى وزن ما كان يملأ الدورق من الماء فترفع الصنج ويملأ الدورق الى العلامة الخطية بالسائل المراد تعيين كثافته ويوضع فى الكفة الثانية عدل الى أن تحصل الموازنة ثم يفرغ الدورق ويغسل ويجفف ويوضع ثانيا فى الكفة ويوضع معه صنج الى أن تحصل الموازنة فهذه الصنج الاخيرة و هى وزن حجم من السائل مساو لحجم من الماء وزنه د وخارج قسمة $\frac{و}{د}$ هو كثافة السائل

ش ٥٠

٧٥ — طريقة الاريومتر — الاريومتر مؤسس على ما علمناه من أن كل جسم يطفو فى حالة موازنة على سائل فانه يزيغ من هذا السائل حجما وزنه مساو لوزن الجسم فينتج من ذلك أن ما ينغمر من الجسم فى السائل يكون أكثر كلما كان السائل أقل كثافة

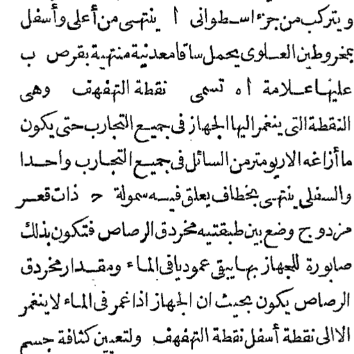
وهى آلة طافية من معدن أو من زجاج وفى الغالب يكون شكلها عبارة عن كرة أو اسطوانة مجوّفة تنتهى من أسفل بانتفاخ يحتوى على الزئبق أو محردق الرصاص ومن أعلى بأنبوبة

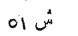
دقيقة تنتهى أحيانا بقرص وبالانتفاخ السفلى يصير الاريومتر فى وضع عمودى متى غمر فى سائل لان هذا الانتفاخ يكون للاريومتر كصبرة السفينة

والاريومتر نوعان أحدهما ذو حجم ثابت ووزن مختلف وثانيهما ذو وزن ثابت وحجم مختلف

٧٦ — الاريومتر ذو الحجم الثابت والوزن المختلف — سمى بهذا الاسم لانه يلزم فى استعماله غمر حجم معلوم منه فى السائل باضافة أوزان اليه ومن هذا النوع اثنان هما أريومتر (نيكلسون) وهو مستعمل لتعيين الوزن النوعى للاجسام الصلبة وأريومتر (فرنهايت) وهو مستعمل لتعيين الوزن النوعى للسوائل

٧٧ — أريومتر نيكلسون — جسم هذا الاريومتر (شكل ٥١) من معدن مجوّف ويتركب من جزء اسطوانى ا ينتهى من أعلى وأسفل بمخروطين العلوى يحمل ساقا معدنية منتهية بقرص ب عليها علامة اء تسمى نقطة التهفهف وهى النقطة التى ينغمر اليها الجهاز فى جميع التجارب حتى يكون ما أزاغه الاريومتر من السائل فى جميع التجارب واحدا والسفلى ينتهى بخطاف يعلق فيه سمولة ح ذات قعر مزدوج وضع بين طبقتيه مخردق الرصاص فتكون بذلك صابورة للجهاز بها يبقى عموديا فى الماء ومقدار مخردق الرصاص يكون بحيث ان الجهاز اذا غمر فى الماء لا ينغمر الا الى نقطة أسفل نقطة التهفهف ولتعيين كثافة جسم




ش ٥١

صلب لا يذوب فى الماء بهذا الجهاز عمليتان الاولى أن يغمر فى الماء المقطر ويوضع على قرصه قطعة من الجسم وزنها غير كاف لغمر الاريومتر الى نقطة التهفهف ثم يوضع بجانب الجسم مخردق الرصاص شيأ فشيأ الى أن ينغمر الاريومتر فى الماء الى نقطة التهفهف وبعد ذلك يرفع الجسم ويوضع مكانه صنج تكفى لغمر الاريومتر الى نقطة التهفهف فهذه الصنج هى وزن الجسم فى الهواء و بطريقة الوزن المزدوج الثانية أن يرفع الجسم من أعلى القرص ويوضع فوق السمولة فيرتفع الاريومتر ويصير سطح السائل أسفل نقطة التهفهف بسبب قوّة دفع السائل له وقد علمنا أنها مساوية لوزن حجم من الماء مساو لحجم الجسم فيوضع على القرص صنج تكفى لغمر الاريومتر الى نقطة التهفهف فهذه الصنج هى وزن ما فقده الجسم من وزنه بغمره فى الماء أى

وزن

وزن حجم من الماء د مساو لحجم الجسم وخارج قسمة وزن الجسم فى الهواء على ما فقده من وزنه بغمره فى الماء هو كثافة الجسم

وليكن ٥٠ جراما وزن الصنج التى وضعت بدل الجسم فوق القرص لينغمر الاريومتر الى نقطة التهفهف و ٨ جرامات وزن الصنج التى وضعت فوق القرص بجانب الحسين جراما بعد وضع الجسم فوق السمولة ليعود انغمار الاريومتر فى الماء الى نقطة التهفهف والمقصود معرفة الوزن النوعى س للجسم فنقول حيث ان أحد العددين هو وزن الجسم فى الهواء والثانى وزن حجم من الماء مساو لحجم الجسم فيكون

$$\text{س} = \frac{٥٠}{٨} = ٦{,}٢٥$$

فاذا خيف طفو الجسم على سطح السائل نكست السمولة بان تعلق من الخطاف به ووضع الجسم أسفلها

وأريومتر (نيكلسون) كثير الاستعمال عند المعدنيين لسهولة استعماله ولكونه أبعد عن العطب من غيره بكثير

٧٨ — الاجسام الصلبة القابلة للذوبان فى الماء — فى حالة ما اذا كان الجسم الصلب يذوب فى الماء تفعل العملية مع سائل لا يذيب الجسم سواء استعملت طريقة الميزان أو طريقة الدورق وليكن أ الجسم الصلب القابل للذوبان فى الماء المراد معرفة كثافته و ب سائلا لا يذيبه و و وزن الجسم فى الهواء و $\text{و}'$ وزن حجم مساو لحجمه من السائل ب و $\text{و}''$ وزن حجم من الماء مساو لحجم الجسم فكثافة الجسم بالنسبة للسائل ب هى $\text{ك} = \frac{\text{و}}{\text{و}'}$ وكثافة السائل ب بالنسبة للماء هى $\text{ك}' = \frac{\text{و}'}{\text{و}''}$ وبضرب المتساوية الاولى فى الثانية يحصل

$$\text{ك}\,\text{ك}' = \frac{\text{و}}{\text{و}'} \times \frac{\text{و}'}{\text{و}''} = \frac{\text{و}}{\text{و}''}$$

وخارج قسمة $\frac{\text{و}}{\text{و}''}$ هى كثافة الجسم بالنسبة للماء لان و هو وزن الجسم فى الهواء و $\text{و}''$ وزن حجم من الماء مساو لحجمه وحينئذ فلتعيين كثافة جسم صلب يذوب فى الماء تؤخذ كثافته بالنسبة لسائل لا يذوب فيه تكون كثافته معروفة ثم تضرب كثافة الجسم بالنسبة للسائل فى كثافة السائل بالنسبة للماء فيحصل على كثافة الجسم الصلب بالنسبة للماء

٧٩ — أريومتر (فرنهيت) — هذا الاريومتر لا يختلف فى شكله عن أريومتر (نيكولسن) غير أنه استبدلت فيه السمولة بكرة فيها خردق الرصاص وأنه من الزجاج

ولتعيين كثافة سائل به يوزن بميزان وليكن وزنه و ثم يغمر فى الماء المقطر و يوضع على قرصه صنج الى أن ينغمر فى الماء الى نقطة التهفهف وليكن وزن هـذه الصنج وَ فالوزن و + وَ هو وزن ما أزاغه الاريومتر من الماء بانغماره فيه الى نقطة التهفهف ثم بعد ذلك يغمر الاريومتر فى السائل المراد تعيين كثافته و يعين الوزن اللازم تحصيله فوق القرص كى ينغمر فى السائل الى نقطة التهفهف وليكن هـذا الوزن د فالوزن و + د هو وزن ما أزاغه الاريومتر من هذا السائل وحيث ان حجم الماء الذى أزاغه الاريومتر مساو لحجم ما أزاغه من السائل لانغماره فى كل منهما الى نقطة التهفهف فكثافة السائل ك هى

$$ك = \frac{و + د}{و + وَ}$$

٨٠ — الاريومتر ذو الوزن الثابت — هـذا الاريومتر ليس مستعملا لمعرفة الوزن النوعى وانما هو معـد لمعرفة درجة تركيز السوائل أى مقدار الماء المخلوط بالسائل نعم خلط السوائل بالماء يغير كثافتها لكن هـذا التغيير مختلف باختلاف السوائل ولذلك اتفقوا فى المتجر على درجة تركيز معينة لكل سائل ينبغى أن لا تختلف عنها كثـيرا درجة تركيز السائل وبالاريومتر ذى الوزن الثابت يتحقق منهـا و يختلف هذا الاريومتر عن المتقدم بان وزنه دائمـا ثابت فهو لذلك ينغمر فى السوائل بدرجات مختلفة

والمستعمل من هذا النوع أريومتر (بوميه) وأريومتر (كارتيه) وأريومتر (غيلوساك) وكلها تتركب من اسـطوانة مجوفة من الزجاج يعلوها ساق من الزجاج تتصل من أسـفل بكرة وضع فيها الزئبق أو مخردق الرصاص تـكون للجهاز صـبرة حالة عومه فيصير عمودى الوضع فى السائل فهـذه آلات اذا غمرت فى سوائل كان انغمارها فيها أكثر كلمـا كانت أقل كثافة ومن التدريج تعلم درجة التركيز للسائل سواء كان حمضيا أو محلولا ملحيا أو روحيا أو شرابا أو غير ذلك

٨١ — أريومتر (بوميه) — هذا الاريومتر (شكل ٥٢) يسمى أيضا بمقياس الارواح بحسب تدريجه

فالمعد منـه لمعرفة درجة تركيز الحوامض والمحلولات الملحية أى لمعرفة تركيز السوائل التى هى أكثر كثافة من الماء يدرج بأن يجعـل وزن صبرته بحيث اذا غمر الاريومتر فى الماء المقطر فانه ينغمر الى منتهى الساق (كالذى فى يسار الشكل) وفى نقطـة تهفهف الساق لسـطح الماء

ش ٥٢

توضع علامة الصفر ثم يغمر الاريومتر فى محلول مكون من ٨٥ جزأ من الماء المقطر و ١٥ جزأ

من

من ملح الطعام وفى نقطة تهفهف الساق للمحلول يوضع رقم ١٥ ثم تقسم المسافة بين الصفر ورقم ١٥ الى خمسة عشر جزأ متساوية ثم يمدّ هذا التقسيم الى أسفل الساق

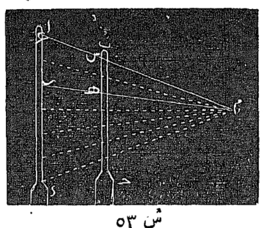
والمعدّ منه لمعرفة درجة تركيز السوائل الروحية أى لمعرفة السوائل التى هى أقل كثافة من الماء يدرّج بأن يجعل وزن الصبرة بحيث اذا غمر فى محلول مركب من ٩٠ جزأ من الماء و ١٠ من ملح الطعام فانه لا ينغمر الا الى مبدا الساق من الاسفل وفى نقطة تهفهف السائل بالساق يوضع علامة الصفر (كالذى فى يمين الشكل) ثم يغمر الاريومتر فى الماء المقطر ويوضع فى نقطة التهفهف رقم ١٠ وتقسم المسافة بين الصفر و ١٠ الى عشر درجات متساوية ويمدّ هذا التقسيم الى آخر الانبوبة

٨٢ — أريومتر (كارتيه) — هو أريومتر (بوميه) منوّعا خفيفا ولم يفصح (كارتيه) عن كيفية تدريجه والدرجة العاشرة منه تقابل كثافة الماء على حرارة ١٢٫٥ + والدرجة ٢٩ تقابل ٣١ من درجات أريومتر (بوميه)

٨٣ — أريومتر (غيلوساك) — هذا يسمى أيضا الاريومتر المئينى وهو معدّ لمعرفة كمية الكؤل الموجودة فى سائل روحى وهو مصنوع بحيث اذا وضع فى الكؤل الصرف انغمر فيه الى قمة ساقه وفى نقطة التهفهف هذه يوضع رقم ١٠٠ ثم يغمر فى مخلوط مكوّن بالحجم من ٩٥ من الكؤل الصرف و ٥ من الماء وفى نقطة التهفهف يوضع رقم ٩٥ وتقسم المسافة بين ١٠٠ و ٩٥ الى ٥ درجات ثم يغمر فى مخلوط من ٩٠ من الكؤل و ١٠ من الماء وفى نقطة التهفهف يوضع رقم ٩٠ وتقسم المسافة بين ٩٥ و ٩٠ الى ٥ درجات ثم يغمر فى مخلوط مكوّن من ٨٥ من الكؤل و ١٥ من الماء وفى نقطة التهفهف يوضع ٨٥ وتقسم المسافة بين ٩٠ و ٨٥ الى ٥ درجات وهكذا الى الصفر فيكون عدد درجات الاريومتر ما بين درجة ١٠٠ وهى المقابلة لانغماره فى الكؤل الصرف ودرجة الصفر وهى المقابلة لانغماره فى الماء المقطر مائة درجة فاذا غمر هذا الاريومتر فى سائل روحى وانغمر فيه الى درجة ٦١ مثلا أخذ من ذلك أن السائل الكؤلى يحتوى على ٦١ فى المائة من الكؤل ولا تكون دلالة هذا الاريومتر صحيحة الا فى درجة حرارة معينة هى درجة الحرارة المعتادة التى حصل عليها التدريج وهى ١٥ + فاذا غمر فى سائل روحى فانه ينغمر فيه أكثر أو أقل من الحقيقة بحسب كون درجة الحرارة تزيد عن ١٥ + أو تنقص عنها ولذلك يلزم تعديل الدرجة الروحية المأخوذة بالاريومتر بحسب درجة حرارة السائل التى تؤخذ من وضع الترمومتر فى السائل الروحى وقت قياس درجته الروحية بالاريومتر بأن يطرح من الدرجة الدال عليها الاريومتر ٠٫٤ من الدرجة لكل درجة حرارة تزيد عن ١٥ + ويضاف اليها ٠٫٤ من الدرجة

لكل درجة حرارة تنقص عن ١٥ + فان غمر الاريومتر فى سائل روحى وعلم فيه ٣١ وكانت درجة الحرارة ١٨ مثلا فحيث كانت درجة الحرارة تزيد ثلاث درجات عن درجة حرارة التدريج يجب أن يطرح من الدرجة الروحية التى هى ٣١ ٣ × ٠،٤ = ١،٢ فتكون الدرجة الروحية الحقيقية ٢٩،٨ وان كانت الدرجة الروحية ٣١ مثلا ودرجة الحرارة ١٠ + فحيث ان درجة الحرارة تنقص عن درجة حرارة التدريج ٥ درجات يجب أن يضاف الى ٣١ ٥ × ٠،٤ = ٢، فتكون الدرجة الروحية الحقيقية ٣٣

وقد وضع (غيلوسالئ) جدولا كجدول الضرب لفيثاغورس تعلم منه الدرجة الحقيقية للسائل الروحى متى علمت درجته بار يومتر (غيلوسالئ) ودرجة الحرارة التى أخذت عليها هذه الدرجة ومتى صنع مقياس كؤل معتنى به أمكن معه تدريج غيره من مقياس الكؤل وذلك بمعرفة درجتين من درجات المقياس الثانى ولبيان ذلك نفرض أن أ د اريومتر (غيلوسالئ) مضبوطا وليكن ١٠٠ و ٧٥ نقطتين معلومتين س هـ (شكل ٥٣) من الاريومتر الثانى ب ح فيرسم على قطعة ورق الطولان أ د و ب ح بتقاسيمهما ويقام من نقطة ع المقابلة لدرجة ١٠٠ فى الاريومتر أ د خط يمر من نقطة ر المقابلة لرقم ١٠٠ فى الاريومتر ب ح وخط آخر من نقطة ر المقابلة لدرجة ٧٥ فى الاريومتر أ د يمر من هـ ثم يقام من بقية نقط اريومتر أ د خطوط تمر من الاريومتر ب ح فجميع هذه الخطوط تتلاقى فى نقطة هى م مثلا وهى نقطة يمر منها جميع الخطوط المارة فى الاريومترين من درجات واحدة



ش ٥٣

ويحصل بار يومتر (غيلوسالئ) على الدرجة الروحية للسائل مباشرة ان كان السائل مكونا من الماء والكؤل أما اذا كان محتويا على أجسام أخر فانه يجب فصل جميع الكؤل منه بالتقطير أولا ثم يمد المتقطر بالماء الى أن يصير حجمه مساويا لحجم السائل قبل تقطيره وبعد ذلك تؤخذ درجة روحيته بالاريومتر الكؤلى

٨٤ — مقياس الحجوم — قد يدرج الاريومتر ذو الوزن الثابت بحيث يستدل به على كثافة السائل (وزن وحدة الحجم) أو على الحجم المشغول بوحدة الوزن من هذا السائل ففى الحالة الاولى يسمى مقياس الكثافة وفى الثانية مقياس الحجم

ولتدريج

ولتدريج مقياس الجوم المعد للسوائل التى هى أكثر كثافة من الماء يجعل وزن الاريومتر بحيث اذا غمر فى الماء المقطر ينغمر الى منتهى ساقه وفى نقطة التهفهف يوضع رقم ١٠٠ ثم بعد ذلك يغمر الاريومتر فى سائل كثافته معلومة $\frac{٤}{٣}$ مثلا فينغمر من الاريومتر فيه أقل مما ينغمر منه فى الماء وحيث ان وزن ما أزاغه الاريومتر من السائلين واحد فالجوم المنغمرة من الاريومتر تكون بعكس كثافة السائلين فاذا فرضنا أن الجم المغمور من الاريومتر فى الماء يساوى واحدا فما غمر منه فى السائل الذى كثافته $\frac{٤}{٣}$ يكون $\frac{٣}{٤}$ وحيث اننا جعلنا الجوم المغمورة فى الماء تساوى ١٠٠ فالجم المغمور فى السائل يصير بالضرورة ٧٥ وحينئذ يوضع فى نقطة تهفهف الاريومتر فى السائل الذى هو أكثر كثافة من الماء رقم ٧٥ وتقسم المسافة بين ١٠٠ و ٧٥ الى ٢٥ ثم يمدّ التقسيم الى الجزء السفلى من الساق

ولتدريج مقياس الجوم المعد للسوائل التى هى أقل كثافة من الماء يجعل وزن الاريومتر بحيث اذا غمر فى الماء المقطر لا ينغمر الا الى مبدا ساقه وفى نقطة التهفهف يوضع رقم ١٠٠ ثم يوزن الجهاز ويضاف اليه سلك من البلاتين يكون وزنه مساويا لربع وزن الاريومتر ثم يوضع الاريومتر فى الماء فينغمر منه أكثر مما انغمر منه قبل اضافة السلك وحيث ان نسبة وزن الاريومتر قبل هذه الاضافة الى وزنه بعدها هى ٤ الى ٥ فهذه النسبة هى أيضا نسبة الجوم المزاغة وحيث انه وضع رقم ١٠٠ فى نقطة التهفهف الاولى ففى نقطة تهفهف الاريومتر بعد اضافة السلك اليه يوضع رقم ١٢٥ وتقسم المسافة بين ١٠٠ و ١٢٥ الى ٢٥ درجة ويمد التقسيم الى منتهى الساق فاذا وضع هذا الجهاز فى سائل وانغمر فيه الى درجة ١٢٠ أخذ من ذلك أنه اذا كان وزن الاريومتر ينوب عن ١٠٠ حجم من الماء المقطر فان الوزن المساوى له من السائل ينوب عن ١٢٠ حجما وحيث ان الكيلوجرام من الماء المقطر يقوم مقام الليتر فالكيلوجرام من السائل يكون ١٫٢٠ ليتر

ومن السهل معرفة كثافة السوائل بالاريومتر مدرّجا كما بينا ولبيان ذلك نرجع الى المثال المتقدم فنقول حيث ان ١٫٢٠ ليتر من السائل يزن كيلوجرام واحد فكثافة هذا السائل تكون $\frac{١}{١٫٢٠}$ أو $\frac{١٠٠}{١٢٠}$ أى أن الكثافة تستخرج بقسمة ١٠٠ على الدرجة الدالة على الجم وهى التى وصل اليها الاريومتر بغمره فى السائل

٨٥ — مقياس الكثافة — بمقياس الجوم يتوصل لمعرفة كثافة السائل كما علمنا ولكن ذلك يحتاج الى حساب أما مقياس الكثافة فيؤخذ منه الكثافة بقراءة الرقم الذى يحصل عليه تهفهف السائل وذلك بسبب تدريجه ولهذا الغرض يوضع مقياس الجم فى الماء ثم فى سائل

كثافته ن وليكن الحجم الذى غمر منه فى الماء ح والذى غمر منه فى السائل حَ فبين هذه الكميات تكون هذه المتساوية

$$\frac{ك}{١} = \frac{ح}{حَ} \quad \text{ومنها} \quad حَ = \frac{ح}{ك}$$

وباعطاء ك قيمة متزايدة بمقدار $\frac{١}{١٠}$ أو $\frac{١}{١٠٠}$ وادخالها فى هذه المعادلة تحصل النقطة التى يتهفهف فيها الاريومتر اذا وضع فى سوائل بهذه الكثافة وفى هذه النقط توضع القيمة المقابلة الى ك

٨٦ — منفعة الوزن النوعى طبا — تعيين الوزن النوعى صار الآن من الامور العادية فى الطب العملى خصوصا لمعرفة مقادير الماء الموجودة فى سوائل البنية كاللبن والبول وغير ذلك ولهذا الغرض تستعمل غالبا اريومترات ذات وزن ثابت وعلى الخصوص مقاييس كثافة لكل سائل مقياس مخصوص فللبول مقياس وللبن مقياس آخر وهكذا وهاك متوسط الوزن النوعى لبعض سوائل البنية وجوامدها

سوائل

ماء مقطر	١٫٠٠٠
دم	١٫٠٥٥٠
مصل الدم	١٫٠٢٧٠
السائل المخى الفقرى	١٫٠١٠٠
اللعاب	١٫٠٠٦٠
الصفراء	١٫١٢٦٠
الرطوبة المائية للعين	١٫٠٠٥٣
البول	١٫٠٢٥٠
اللبن — المرأة	١٫٠٢٠٣
اللبن — البقرة	١٫٠٣٢٤
اللبن — الاتان	١٫٠٣٥٥

جوامد

جوامد

عضلات	١٫٠٦
اوتار	١٫١٢٥
أعصاب	١٫٠٤٠
مخ	١٫٠٣٠
شرايين	١٫٠٧٠
أربطة	١٫٠٤٥
عظام	١٫٩٧٥

تأثير الجزيئات

قدعرفنا الظواهر المهمة التى تحصل فى الاجسام بقطع النظر عما ينتج من تأثير قوى الجزيئات لانافرضنا لهذه القوى شدة صغيرة لاتغير تغييرا محسوسا النتائج الحاصلة فى الاجسام بتأثير القوى الخارجة عنها والآن نبحث عن التغيرات التى تعرض للقوانين التى ذكرناها متى كانت أحوال التجارب لاتسمح بقطع النظر عن قوى الجزيئات مؤثرين فى ذلك الاختصار

٨٧ — التوتر السطحى للسوائل — علمنا تأثير التثاقل فى السوائل بقطع النظر عما للجزيئات من التأثير بعضها فى بعض والحال أن كل جزىء فى كتلة السائل يكون مجذوبا من جميع الاتجاهات بالجزيئات المجاورة غير أن هذا الجذب يكون متساويا فيعدم بعضه بعضا اثنين اثنين وبذلك يكون الجزىء فى باطن السائل كما لو كان الجذب الجزيئى معدوما وليس الامر كذلك بالنسبة للجزيئات الكائنة على سطح السائل فهذه منجذبة من جهة واحدة وهى الجهة المقابلة لباطن السائل اذ لاقوة تلجئ هذه الجزيئات للاتجاه فى اتجاه مضاد فينتج من ذلك أن السطح المطلق للسائل يكون منقادا لتأثير قوة متجهة من الخارج الى الداخل ونتيجة هذه هى احداث ضغط على سطح السائل وهذا الضغط يسمى التوتر السطحى للسوائل

ووجود هذا التوتر يفسر ظاهرة كثيرة الوقوع هى أنه اذا كان السائل محتويا على فقاعات غازية فربما كانت هذه الفقاعات بدل أن تخرج من السائل لتنتشر فى الهواء المطلق تجتمع تحت طبقة السائل التى هى أعلى سطحا فالغاز مع ميله للتخلص الى الخارج ممسوك بتوتر الطبقة السطحية للسائل

وحينئذ فالتوتر السطحى الحاصل فى سطوح السوائل متسبب عن التماسك اى عن جذب جزيئات السوائل بعضها البعض وتكور السوائل المطلقة الغير المتاثرة بالتثاقل متسبب أيضا عن توتر السوائل فالشكل الذى عليه كرات المادة الدسمة السابحة فى اللبن ناتج عن جذب جزيئاتها بعضها البعض

٨٨ — التصاق الاجسام الصلبة بالسائلة — يتغير تاثير التثاقل فى الاجسام السائلة ايضا بالظواهر التى تظهر من ملامسة الاجسام السائلة للصلبة وملامسة السائلة للسائلة

فالاجسام الصلبة تجذب السوائل جذبا شدته تتعلق بالجسم الصلب وبطبيعة الجسم السائل الملامس له معا وهذا الجذب يسمى التصاقا كما أن الجذب بين جزيئات جسم واحد يسمى تماسكا

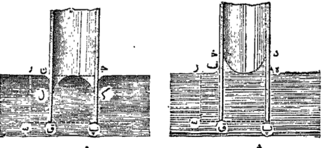
ولتحقيق وجود الالتصاق بين الاجسام الصلبة والسائلة يعلق فى احدى كفتى الميزان الايدروستاتيكى مرفوع العاتق قرص من زجاج يكون سطحه السفلى جيد الاستواء ويكون تعليقه من مركز ثقله ثم يخفض عاتق الميزان الى أن يلامس السطح السفلى للقرص سطح ماء وضع فى اناء تحت الكفة بحيث لا يكون بين سطح القرص وسطح الماء شئ من الهواء فبرفع عاتق الميزان ثانيا يشاهد أنه يلزم لفصل القرص عن الماء وضع ثقل فى الكفة الثانية يفوق وزن القرص وأن القرص حال ارتفاعه يجذب معه الماء

ولتحقيق وجود الالتصاق بين الاجسام الصلبة يؤخذ قرصان من الزجاج سطحاهما مستويان جيدا غير مصقولين ويزلق أحدهما على الآخر مع ضغط بعضهما ببعض من الوسط فيصير التصاقهما شديدا حتى أنه يتأتى تعليقهما من أحدهما ولا يسقط الثانى بل قد لا يسقط بتعليق ثقل فيه ولو كان القرصان تحت ناقوس الآلة المفرغة

ولنتائج حصول الالتصاق والتماسك معا حالتان متميزتان فان جذب الاجسام الصلبة للاجسام السائلة قد يكون أكبر من التماسك وقد يكون أصغر منه ففى الحالة الاولى يبتل الجسم الصلب بالسائل وفى الحالة الثانية لا يبتل به فالخشب أو الزجاج مثلا يحدث فى الماء جذبا أعظم من تماسك جزيئات الماء ولذا اذا غمرت قطعة من الخشب أو الزجاج فى الماء ثم اخرجت فانها تسحب معها نقطا من هذا السائل فالجذب الحاصل من الزجاج على الجزيئات السائلة يفوق تماسك السائل بل والتثاقل معا والزئبق نقيا لا يلتصق بالزجاج ولا بالخشب ويلتصق بالنحاس والذهب وقد رأينا أن سطح السائل المتأثر بالتثاقل وحده يكون أفقيا ومع ذلك فمن النادر أن يكون سطح السائل أفقيا تماما فى النقط المجاورة لجدر الجسم الصلب الرأسية وذلك بسبب

التصاق

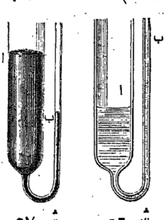
التصاق جزيئات السائل بالصلب وقد أبان (كلبروت) ان سطح السائل فى النقط المجاورة للجدر لا يكون أفقيا الا اذا كان التصاق السائل بالجسم الصلب يساوى نصف تماسك جزيئات السوائل بعضها ببعض ومتى كانت قوّة الالتصاق أعظم من ذلك فان السائل يبل الجسم الصلب وسطحه يرتفع على جدره مكوّنا الشكل هلالى يسمى الهلالى المقعر كالشكل د ه ف خ (شكل ٥٤) ومتى كانت قوّة التماسك تزيد عن ضعف قوّة الالتصاق فان السائل لا يبل الجسم الصلب وسطحه يبعد عن الجدر فينخفض فيصير محدّبا ويسمى هذا الهلالى المحدّب كالشكل ك ج ن ل (شكل ٥٥) ومثال الهلالى المقعر سطح الماء فى أنبوبة ضيقة ومثال الهلالى المحدب سطح الزئبق فى أنبوبة ضيقة كذلك



ش ٥٤ ش ٥٥

٨٩ — الظواهر الشعرية — تغير شكل سطوح السوائل فى نقطة تلامسها بالاجسام الصلبة وتوتر هذه السطوح مما يحدث تغيرا فى شروط الموازنة المنقاد لها ارتفاع السوائل فى الاوانى المتواصلة فلنفرض سائلا فى اناء جدره متقاربة كانبوبة مثلا فمن البين أن التوتر السطحى يختلف بحسب كون السطح أفقيا أو محدبا أو مقعرا وقد دلت الابحاث على أن التوتر السطحى فى هلالى مقعر أقل منه اذا كان السطح أفقيا ويكون هذا التوتر فى الهلالى المحدّب أعظم منه فى الافقى أما التوتر السطحى للسائل خارج الانبوبة فلا تغير فيه لان السطح افقى تقريبا فى جميع نقطه

اذا علمت ذلك فلنتصوّر أنبوبة ا (شكل ٥٦) و ا (شكل ٥٧) كلتاهما متصلة بأنبوبة شعرية ب و ب أى أنبوبة مستدقة جدا (ولقرب قطرها من قطر الشعرة سميت شعرية والظواهر التى تشاهد فيها تسمى بالظواهر الشعرية) ففى الانبوبتين المتسعتين ا و ا يمكننا صرف النظر عن تأثير انحناء السطح فى التوتر السطحى لان سطح السائل يكون مستويا فى معظم نقطه وليس الامر كذلك فى الانبوبتين المستدقتين ب و ب ففيهما يكون التوتر السطحى كثير التغير لان سطح السائل يكون منحنيا فى جميع جهاته فينتج من ذلك أن التوتر السطحى يكون أقل فى ب (شكل ٥٦)



ش ٥٦ ش ٥٧

منه فى ا حيث ان الهلالى للانبوبة ب مقعر ويكون أكثر فى ب منه فى ا (شكل ٥٧) حيث ان الهلالى فى ب محدب ووجود فرق فى التوتر بين سطوح سائل فى أنبوبتين متواصلتين ينتج عنه تغير شروط الموازنة المنقاد لها سطح السائل فى الاوانى المستطرقة التى فيها التثاقل وحده يعين ارتفاع هذه السطوح ففى الانبوبة ب (شكل ٥٦) يكون ضغط عمود السائل أقل من ضغط العمود المساوى له فى الارتفاع من الانبوبة ا حيث ان توتر السطح فى ب أقل منه فى ا ولذلك لا تكون الموازنة الا وسطح السائل فى ب أرفع من سطح السائل فى ا ويحصل العكس فى الانبوبة ب ا (شكل ٥٧) ففيهما لا تكون الموازنة الا وسطح السائل فى ب أخفض منه فى ا لان توتر السطح فى ب أعظم منه فى ا والحالة الاولى تشاهد اذا ملئت بالماء أنبوبة متسعة ملتحمة بأنبوبة شعرية والثانية تشاهد اذا ملئت هذه الانبوبة بالزئبق

٩٠ — قانون ارتفاع السطوح الناتجة عن التاثيرات الشعرية — قد أوقفتنا أبحاث (غياوسالك) العملية فى ارتفاع وانخفاض سطوح السوائل الناتجة عن التأثيرات الشعرية على ما اهتدى اليه (بواسون ولبلاس) بالحساب وهى القوانين الآتية

القانون الاول — الارتفاعات أو الانخفاضات التى تحصل فى سائل كائن فى أنابيب شعرية من مادة واحدة تكون على العكس من أقطار هذه الانابيب مادام قطرها لا يتعدى ٢ ملليمتر

القانون الثانى — لا تتعلق الارتفاعات أو الانخفاضات الا بقطر الجزء من الانبوبة الذى يحصل فيه الهلالى دون قطر الجزء الباقى منها

القانون الثالث — ارتفاع أو انخفاض سطح السائل بين صفيحتين متوازيتين يكون على العكس من طول المسافة الفاصلة بين الصفيحتين وهو نصف ما يكون فى أنبوبة قطرها المسافة الفاصلة بين الصفيحتين

وبالخواص الشعرية يفسر عدة ظواهر تشاهد كل يوم فبسببها يرتفع الزيت فى فتائل المصابيح ويتخلل الماء قطع السكر والاسفنج وغيره من الاجسام ذات المسام حين يغمر جزء منها فى الماء وبسبب ذلك قد يطفو بعض الاجسام على سطح الماء مع كونها أثقل منه وذلك كابرة من الصلب غطيت بطبقة خفيفة من الشحم فان الماء لا يبل هذه الابرة فيهبط تحتها وبذلك قد يصير وزن الماء المزاح أكثر من وزن الابرة أو مساويا له وبسبب الخواص الشعرية تنزلق بعض الحشرات على سطح الماء من غير أن تغور فيه

٩١ ـ ذوبان الاجسام الصلبة ـ قد يكون جذب السائل للجسم الصلب قويا كافيا لقهر تماسكه ففي هذه الحالة يذوب الجسم الصلب في السائل أي أن جزيئات الصلب ينفصل بعضها عن بعض وتختلط بجزيئات السائل فتكوّن سائلا متجانسا وبعبارة أخرى أن يحصل تغير في حالة الجسم الصلب وهذا التغير يسمى بالذوبان والكتلة السائلة الناتجة عن هذا التغير تسمى محلولا

ولذوبان الجسم الصلب في السائل وقت فيه تحصل موازنة بين جزيئات السائل والصلب فلا يمكن أن يذيب السائل من هذا الجسم الصلب زيادة عما أذابه أي لا يمكن أن يسيل جزأ آخر من الجسم الصلب فيقال للسائل حينئذ قد تشبع والنسبة بين مقدار المذيب وغاية ما يمكن أن يذيبه من الجسم الصلب تعين سعة تشبع السائل بهذا الجسم وتسمى هذه النسبة عامل ذوبان الجسم الصلب بالنسبة للسائل المقصود

وتتعلق سعة تشبع السائل بطبيعة السائل والجسم المذاب فالمائة جزء من الماء على الدرجة المعتادة تتشبع بثلاثمائة جزء من السكر و ٣٫٣ من كلورات البوتاسيوم والمائة جزء من الجليسرين تتشبع بأربعين جزأ من السكر وبأكثر من ١٠ من كلورات البوتاسيوم وتتعلق سعة التشبع أيضا بدرجة الحرارة وفي العادة أنها تزداد بارتفاع درجة الحرارة وينقص ذوبان بعضها متى زادت درجة الحرارة عن حد معين

وحجم المحلول ينقص في العادة عن مجموع حجمي المذيب والمذاب وبذلك يكون وزنه النوعي أزيد من متوسط الوزن النوعي للجسم المذيب والمذاب وفي ذلك دليل على ان جزيئات الجسم الصلب والسائل يتقارب بعضها من بعض في ظواهر الذوبان بتأثير جذب بعضها في بعض فيصير بعض جزيئات الجسم السائل أقرب الى بعض مما كانت عليه قبل الذوبان ويؤخذ من ذلك أن جذب جزيئات السوائل لجزيئات الصلبة في حالة الذوبان يفوق تماسك الجسم الصلب المذاب والجسم السائل المذيب

٩٢ ـ التشرّب ـ متى وضع بعض الاجسام خصوصا العضوية في سائل كانت قوة جذب جزيئاتها لجزيئات السائل غير كافية لقهر تماسكها فلا تستحيل الى السيولة وفي هذه الحالة يحصل أحد أمرين اما ان يتخلل السائل مسامها بالطريقة الشعرية وهذا هو التشرب أو ينقسم الجسم الصلب الى أجزاء مختلفة الغلظ تختلط بكتلة السائل وهذا يسمى ذوبانا غير تام وجميع الانسجة العضوية ماعدا الانسجة الدسمة تتشرب بالماء وبعض متحصلات الكائنات الحية كالنشا والصمغ تكون مع الماء محاليل غير تامة

وقد أفادت أبحاث المعلم (شوفرى) ان الاجسام العضوية كالعضلات والاوتار والاغشية المختلفة اذا جففت فى الفراغ أو فى الهواء المطلق أو بالضغط تنتفخ بملامستها للماء وتتشربه فتعود الى حالتها الاصلية فالوتر الذى يفقد بالتجفيف المستطيل نصف مائه يكتسب ما فقده من هذا السائل بوضعه فيه فتعود له جميع صفاته الاولى وكذلك الالياف العضلية التى صارت الى خمس وزنها بالعصر تعود الى حالتها الاعتيادية بملامستها للماء

وطبيعة السائل تغير شدة التشرب فالانسجة تتشرب من المحاليل الملحية أقل مما تتشرب من الماء القراح فمن أبحاث (ليبج) تبين أن مائة جزء من مثانة ثور مجففة تتشرب بعد ٢٤ ساعه ٢٦٨ حجما من الماء القراح و ١٣٣ من محلول كلورور الصوديوم

وقد أبان (برولك) و (ليبج) أن التشرب يغير درجة تركيز المحلول فما يتشرب من السائل بالنسيج العضوى يكون أقل احتواء على الملح من المحلول الحاصل فيه التشرب

٩٣ — انتشار السوائل — الجذب الذى يحصل بين جزيئات الاجسام الصلبة وجزيئات الاجسام السائلة يحصل بين جزيئات سوائل مختلفة ويقال للسوائل التى يحصل بين جزيئاتها هذا الجذب انها قابلة للمزج فالماء يمتزج بمحلول كلورور الصوديوم وبالكؤل وبالخل ولا يمتزج بالزيت ولا بالزئبق

ولابانة انتشار السوائل بطريقة سهلة يوضع فى اناء مقدار من صبغة عباد الشمس الزرقاء ثم يوضع بواسطة (بيبيت) فى قعر الاناء شئ من حمض الكبريتيك فيشاهد استحالة لون السائل من الزرقة الى الحمرة شيأ فشيأ من قعر السائل الى سطحه

وتنقسم السوائل من حيث امتزاجها الى سوائل تمتزج بأى مقدار وذلك كالماء والكؤل فى امتزاجهما بالايتير وسوائل لا تمتزج الا بمقدار معين كالماء فى امتزاجه بالايتير والكلوروفورم وينقص حجم الممزوج عن مجموع حجوم السوائل الممتزجة نقصانا مقداره يختلف باختلاف السوائل فممزوج ٥٤ حجما من الكؤل الخالى عن الماء و ٥٠ حجما من الماء لا يشغل الا ١٠٠ حجم أى ان هناك انقباضا مقداره $\frac{١٠٤ - ١٠٠}{١٠٤}$ ولانتشار السوائل قوانين هى

القانون الاول — يزداد الانتشار بارتفاع درجة الحرارة

القانون الثانى — سرعة الانتشار تتعلق بالجسم المذاب وبالوسط الذى يحصل فيه الانتشار

القانون الثالث — كمية ما ينتشر فى زمن واحد على درجة حرارة واحدة من ملح مذاب فى سائل بمقادير مختلفة متناسبة مع الكمية المذابة من هذا الملح وبعبارة اخرى ان كمية الملح التى تفارق

فى

فى زمن معين السائل المحلول فيه لتنتشر فى سائل آخر كالماء مثلا متناسبة مع درجة تركيز المحلول الملحى

٩٤ — انتشار السوائل من الحواجز ذات المسام — اندسموز — قد يفصل سائلان قابلان للمزج بعضهما عن بعض بحاجز صلب يسمح بمرور احدهما فوجود هذا الحاجز ذى المسام يكسب ظواهر الانتشار التى تحصل فى هذه الحالة صفة خاصة لانه حينئذ لا يكون امتزاج السائلين متعلقا بالجذب الجزيئى للسوائل فقط بل يكون متعلقا أيضا بميل كل سائل لمادة الحاجز فاذا كان السائلان غير قابلين للمزج فانتشارهما من الحاجز مستحيل كما أن امتزاجهما حين يكونان متلامسين مباشرة غير ممكن أما اذا كان السائلان قابلين للمزج فانه يحصل الانتشار مع حصول تنوع فيه هو نتيجة وجود الحاجز المسامى وسميت الظواهر التى تحصل فى هذه الاحوال (اندسموز) وسماها (جراهام) أوسموز ولبيان التنوع الذى يحصل فى الانتشار بوجود حاجز صلب نقول انه فى انتشار سائلين متلامسين مباشرة تتبادل كميات متساوية من الاصول المركبة للسائلين بحيث ان حجم كل من السائلين مقيسا من ابتداء سطح انفصالهما الاصلى يبقى تقريبا ثابتا وليس الامر كذلك فى الاوسموز فالسائل الذى يكون ميله للحاجز أعظم يمر بمقدار أكبر فتتغير نسبة حجمى السائلين عما كانت قبل حصول ظاهرة الاندسموز فاذا فصل الماء والكؤل مثلا بغشاء من الصمغ المرن فما يمر من الكؤل من الغشاء لينتشر فى الماء أكثر مما يمر من الماء لينتشر فى الكؤل وذلك لان الصمغ يبتل بالكؤل لميله له ولا يبتل بالماء فاذا فصل السائلان بمثانة حيوان فما يمر من الماء منها لينتشر فى الكؤل يكون أعظم مما يمر من الكؤل لان المثانة الحيوانية تبتل بالماء فيل الماء للمثانة أعظم من ميل الكؤل لها ولذلك يمر منها من الماء أكثر مما يمر منها من الكؤل

وغالب الانسجة يبتل بالماء ولذلك اذا كانت حاجزة بين الماء وبين محلول يمتزج به فانها تساعد على انتقال الماء وانتشاره فى المحلول ولمقابلة انتشار السوائل بعضها ببعض من خلال الاغشية يبحث عن انتشار كل منها على حدته فى الماء من خلال غشاء واحد وفى درجة حرارة واحدة ولهذا الغرض يوضع السائل فى جهاز يسمى اندسموز ومتر (شكل ٥٨) وهو عبارة عن أنبوبة مفتوحة عمودية مثبتة على فتحة ناقوس فه سد قعره بقطعة من المثانة أو بأى غشاء عضوى آخر فيملأ الناقوس بالسائل المراد معرفة انتشاره الى مبدا الانبوبة و يوضع هذا الناقوس فى اناء ف فيه ماء بحيث يكون سطح الماء محاذيا لسطح السائل فيرى بعد زمن ارتفاع سطح السائل فى الانبوبة بسبب نفوذ الماء من الغشاء و يحمل الماء مقدارا مختلفا من

السائل وبعبارة اخرى يحصل من خلال الغشاء تياران مختلفا الشدة والاتجاه والذى به دخل الماء فى الانبوبة يسمى اندوسموز وهو الاقوى والثانى الذى به يخرج السائل من الناقوس يسمى اوكزسموز وهو الاضعف

وفى الغالب ان الاندسموز يحصل من السائل الاقل كثافة ولهذه القاعدة استثناآت منها ان الماء يتجه نحو الكؤل والكؤل نحو الايتير

شكل ٥٨

٩٥ ــ مكافئ الاندسموز ــ دلت التجربة على وجود علاقة بين مقدار الماء الداخل فى أنبوبة الاندسموزومتر ووزن المادة المذابة فى المحلول الخارجة منها مادامت درجة تركيز المحلول الموضوع فى الانبوبة لم تتغير تغيرا بينا وكمية المادة المذابة فى المحلول خارجة من الاندسموزومتر غير محسوسة وتسمى بمكافئ الاندسموز كمية الماء التى تحل بطريق الاسموز محل جرام من المادة المذابة فى المحلول وفى الغالب يكون مكافئ الاسموز أكبر من الوحدة متى كان غشاء الاندسموزومتر حيوانيا أى أن ما يحل من الماء محل الجسم فى الاندسموزومتر يكون أكبر من الوزن الذى حل محله من هذا الجسم وقد يكون أيضا مقدار الماء أقل وفى الحالة الاولى يقال للاوسموز موجب وفى الحالة الثانية يقال له سالب

ويتعلق مكافئ الاندسموز لجسم بطبيعته الكيماوية وبدرجة تركيزه فان كان اوسموز الجسم موجبا فان مكافئ اندسموزه يزداد وان كان سالبا فانه ينقص فمثلا مكافئ محلول كلورور الصوديوم المحتوى على ٤٫٦ من كلورور الصوديوم فى المائة من الماء ١٫٥ ويصير ٢٫٣ اذا كان المحلول يحتوى على ١١٫١ فى المائة من الماء ويصل الى ٣ اذا كان المحلول يحتوى على ٢٦٫٥ من هذا الملح ومكافئ الاندسموز لايدارت البوتاسيوم ٢٠٠ وينقص مكافئ الاندسموز لكبريتات الصوديوم بازدياد تركيز محلوله ولو كان اسموزه موجبا

ويزداد المكافئ الاندسموزى والظروف متناسقة اذا كان الغشاء الموضوع بين السائلين جافا بدل أن يكون منديا بالسائل وانتفاخ الغشاء يقلل قابلية نفوذ الماء فيه ويزيد قابلية نفوذ الملح ومن ذلك يرى أن المكافئ الاندسموزى ليس له ثبات مطلق ولو استعمل غشاء واحد وتغيره هو فى حدود واسعة بحسب طبيعة الغشاء

ولا

ولا يتغير المكافئ الاندسموزى تغيرا من هذا القبيل بفصل السوائل بفواصل لا تنتفخ فى الماء كالطفل بدل استعمال الاغشية ولذلك فضل استعمال هذه الفواصل لمعرفة ما للسعة المسام من التأثير فى ظواهر الاوسموز

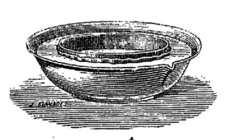
وقد دلت التجربة على أنه كلما كانت مسام الحاجز الطفلى واسعة قارب المكافئ الاندسموزى الوحدة ولسعة المسام حد متى صارت اليه انعدم تأثير الفاصل فى انتشار السوائل أى لا يحصل اوسموز بل مزج بسيط وفى هذا يكون المكافئ الاندسموزى مساويا للوحدة

وبالعكس كلما صغرت المسام تباعد المكافئ الاندسموزى عن الوحدة ويزداد فى الاجسام التى اوسموزها موجب وينقص فى الاجسام التى اوسموزها سالب ولضيق المسام أيضا حد متى وصل اليه كان المكافئ الاندسموزى قريبا من الوحدة الى أن لا يحصل اندسموز ولا انتشار فى السائل وفى هذا الوقت يكون الفاصل لا يسمح بنفوذ السوائل منه وحينئذ فلسعة مسام الفاصل حدان اذا تجاوزتهما انعدم الاوسموز

وسمك الفاصل أى طول مسامه يؤثر فى ظاهرة الاوسموز كتأثير ضيقها فكلما كان الفاصل أسمك كان المكافئ الاندسموزى أبعد عن الوحدة وما قيل فى الفاصل الطفلى ينطبق على الاغشية المسامية

٩٦ — الدياليز — اذا انتشر محلول محتوعلى مخلوط من مادة غير قابلة للتبلور ومادة قابلة له فى الماء فانه لا يمر فى الماء شئ من المادة الغير القابلة للتبلور فاذا وضع فى ناقوس الاندسموز ومتر مخلوط محلول الصمغ والسكر مذابين فى الماء فالسكر وحده يمر من الغشاء لينتشر فى الماء الموضوع خارج الناقوس وعلى هذه الخاصة تصور (جراهام) طريقة لفصل الاجسام القابلة للتبلور من الغير القابلة له فى المحاليل المختلفة وذلك بان يوضع المخلوط فى اناء قعره من الورق غير المنشى الذى غمر فى حمض الكبريتيك فصار بذلك متينا غير قابل للتعفن ثم يوضع الاناء فى اناء آخر محتوعلى الماء المقطر وفى هذا الاخير تنتشر الاجسام القابلة للتبلور بعد أن تمر من الغشاء وهذه الطريقة تسمى طريقة الدياليز والجهاز الذى ذكرناه وهو المستعمل فى هذه الطريقة يسمى بجهاز الدياليز (شكل ٥٩) واذا





ش ٥٩

كانت المادة القابلة للتبلور المخلوطة بغير القابلة له مكونة بعد مرورها من الغشاء لمحلول بينه

و بين المادة غير القابلة للتبلور وميل اندسموزى دل ذلك على ان فصل المادة بعضها عن بعض بطريقة الديالبز غير تام فاذا وضع فى الديالبزمثلا محلول محتو على الزلال وكلورور الصوديوم فانه لا يمر فى ابتداء العمل من الغشاء غير جزيئات الملح غير أن المحلول الملحى المتكون فى الجهة الثانية من الغشاء بسبب مرور هذه الجزيئات يجذب الزلال بقوة ولاجتناب هذا العارض يجدد الماء المقطر زمنا فزمنا

٩٧ — سرعة الاندسموز — السرعة التى بها يحصل الاندسموز بين الماء والجسم المذاب فى المحلول ثابتة مادامت درجة تركيز المحلول لم تتغير والماء باقيا على نقائه ودرجة الحرارة ثابتة ولا تتعلق سرعة انتشار الاجسام المختلفة بالنسبة الكائنة بين مكافئات اندسموزها ولكنها تتعلق بذوبان الاجسام وبطبيعتها الكيماوية وبدرجة تركيزها فتزداد سرعة الانتشار كلما كان الجسم أكثر ذوبانا وسرعة انتشار الاجسام التى يقرب بتركيبها الكيماوى بعضها من بعض لا تختلف وتزداد سرعة الانتشار بازدياد التركيز بل ازديادسرعته أكثر من ازدياد كمية الملح وفى الاسموز بين الماء والمحلول الملحى تكون السرعة ومرور جزيئات الملح نحو الماء أعظم كلما كان المحلول الملحى أكثر تركيزا وكذلك سرعة مرور جزيئات الماء نحو الملح ولكن سرعة التيارين ليست واحدة فان سرعة التيار المتجه من الماء الى الملح أكبر من سرعة التيار المضاد ومن ذلك يتبين أنه كلما كان المحلول أكثر تركيزا كان مقدار الماء الذى يمر فى زمن معين من الغشاء المسامى ليمتزج بهذا المحلول أعظم ويفهم سبب ارتفاع مكافئ الاندسموز بازدياد تركيز المحلول

٩٨ — انتشار سائلين تركيبهما وتركيزهما مختلفان من خلال الاغشية — اذا كان الانتشار من الاغشية حاصلا بين سائلين مختلفى التركيز والتركيب الكيماوى فان الظاهرة تتعلق بدرجة تركيز كل من المحلولين وبتركيبهما الكيماوى

ويسهل تبادل الاصول المذابة فى السائلين كلما اعظم بينهما الميل الكيماوى فسرعة الانتشار بين حمض وقاعدة أعظم من سرعة الانتشار بين حمضين أو ملحين وكلما كان للاجسام الموجودة فى المحلولين ميل بعضهما لبعض كان أحد التيارين متغلبا على الآخر فاذا كان الاسموز مثلا بين حمض وقلوى فان الحمض يتجه نحو القلوى ويكاد العكس لا يحصل

واذا كان الانتشار بين محلولين محتويين على جسم واحد لكن بمقادير مختلفة فان مقدار الجسم المذاب ينقص فى المحلول الاكثر تركيزا ويزداد فى الآخر ويحصل تغير فى الحجم كما يحصل عندما يكون الانتشار حاصلا بين الماء القراح والملح غير أن هذا التغير يكون بطيئا

٩٩ — الاجسام القابلة للتبلور وغير القابلة له — بعض الاجسام لا يمر من خلال الاغشية العضوية الا بصعوبة وذلك كمحلول الزلال والصمغ والهلام وغير ذلك والبعض الآخر يمر من الاغشية العضوية بسهولة والاولى سماها (جراهام) بغير القابلة للتبلور وهى التى تكسب الماء الذى أذيبت فيه قواما هلاميا وتجذب الماء من خلال الغشاء وبذلك كان مكافئها الاندسموزى عظيما ولكن سرعة التيار الاندسموزى والاكرسموزى ضعيفة والثانية سماها بالقابلة للتبلور لانه يمكن الحصول عليها غالبا متبلورة

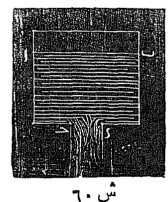
والميل الاسموزى للزلال محلولا الى المحاليل الملحية أكثر من ميله الى الماء ويزداد تيار الانتشار بازدياد تركيز المحلول الملحى ومع ذلك اذا صار مقدار الملح عظيما فان المحلول الملحى لا يأخذ من المحلول الزلالى الا الماء

١٠٠ — نظرية الاندسموز — الظواهر العمومية مؤسسة على قضيتين أصليتين هما ابتلال الحواجز ذات المسام الذى هو نتيجة ميل السوائل الى الجوامد وانتشار السوائل

فاذا فصل سائلان ا و ب مثلا بغشاء فلا يحصل الاندسموز أى اختلاط السائلين بانتقال فى العناصر المكونة للسائلين من غير تساو الا اذا كان السائلان قابلين للامتزاج وكان لاحد السائلين ا مثلا ميل للغشاء أكثر من ميل الثانى ب له وكان ميل مخلوط السائلين الى الغشاء متوسطا بين ميل كل منهما على انفراده الى هذا الغشاء

ومن البين أنه فى هذه الظروف لا يحصل اختلاط السوائل بالكيفية التى يحصل بها الاختلاط مع عدم وجود حاجز بينهما ولبيان ذلك نتخيل ما يحصل فى مسم واحد من مسام الحاجز فالسائل ا الذى ميله الى الحاجز أعظم من ميل ب لهيدخل فى المسم ويملؤه كله طاردا أمامه السائل ب وعند وصوله للسطح الثانى من الغشاء ينتشر فى السائل ب بسبب ميل السائلين بعضهما لبعض ثم يدخل فى المسم كمية جديدة من السائل ا بدل التى انتشرت وهكذا ومن ذلك يحصل بالضرورة التيار المسمى اندسموز وهذا انما هو سير الظاهرة فى طبقة السائل الملامسة مباشرة للجدر الباطنة لهذا المسم أما فى الجزء المركزى فان السائلين يختلطان تبعا لقوانين الانتشار لانه فى هذا الجزء من المسم لا يكون للحاجز تأثير عليهما فتتبادل جزيئات السائلين على التساوى فيتولد تياران أحدهما فى اتجاه تيار الاندسموز والثانى فى اتجاه مضاد له ونتيجة هذا الاخير انتقال السائل ب الى محل السائل ا وهو التيار المسمى تيار الاكزسموز

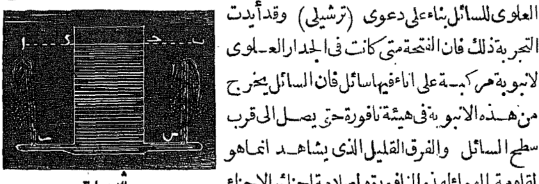
١٠١ — دعوى (تروشيلي) — اذا اعتبرنا سائلا فى اناء سطحه فى أ ب مثلا (شكل ٦٠) فكل جزء من قعر هذا الاناء يتحمل ضغطا علمنا فيما تقدم مقداره فاذا فتحنا فى هذا القعر فتحة كالفتحة ى ح فجزيئات السائل الكائنة فى هذا المكان تسقط لعدم وجود ما يمنعها من انقيادها للتثاقل والضغط الواقع عليها وسقوطها يحصل بسرعة معينة بدعوى (تروشيلي) وهي أن سرعة جزيء السائل الخارج من فتحة جعلت فى جدار اناء هي عين سرعة الجسم الساقط سقوطا مطلقا من سطح السائل الى مركز ثقل هذه الفتحة



ش ٦٠

فاذا رمز للمسافة بين سطح السائل ومركز ثقل الفتحة بالحرف ر ورمز لسرعة سيلان السائل بالحرف س يكون $س = \sqrt{٢ ع ر}$ وهذه السرعة الناشئة عن ضغط السائل تكون كهذا الضغط عمودية على الجدر فى النقطة المقصودة وشكل الطريق المقطوع بالجزيئات المختلفة المتعاقبة يتعلق بالسرعة الاصلية لها وبالتثاقل فيكون هذا الطريق مستقيما اذا كانت الفتحة فى جدار أفقى واتجاه السرعة الاصلية عموديا كالتثاقل وفى غير ذلك يكون الطريق قطعا مكافئا

وحيث ان السرعة المكتسبة بجسم ساقط من ارتفاع هي عين السرعة التى يلزم ايجادها فيه ليصل الى هذا الارتفاع بقذفه من اسفل الى أعلى فالجزيئات الخارجة من الفتحة س (شكل ٦١) بسرعة ناتجة عن ضغط السائل تصل الى المستوى ى ح الذى هو السطح العلوى للسائل بناء على دعوى (ترشيلي) وقد أيدت التجربة ذلك فان الفتحة متى كانت فى الجدار العلوى لانبوبة مركبة على اناء فيها سائل فان السائل يخرج من هذه الانبوبة فى هيئة نافورة حتى يصل الى قرب سطح السائل والفرق القليل الذى يشاهد انما هو لمقاومة الهواء لهذه النافورة ولمصادمة اجزائها الاجزاء السائل الساقط ولذلك يزداد ارتفاع السائل الخارج باما لة النافورة زاوية صغيرة كما فى ر كى لاتتصادم بنقط السائل الساقط



ش ٦١

١٠٢ — المصروف والمعادلات — تسمى مصروفا كمية السائل الجارية من فتحة فى زمن معين ويقدر بمقدار الليترات السائلة من الفتحة فى ثانية واحدة وبارتفاع معين للسائل يسمى حمله

وكمية السائل الجارية فى الثانية الواحدة بحمل معين تحصل بضرب سطح الفتحة فى سرعة خروج السائل لانه لو بقيت الجزيئات بعد خروجها من الفتحة على الحركة التى كانت عليها وهى فى الفتحة لكونت بعد ثانية اسطوانة قاعدتها الفتحة وارتفاعها المسافة المقطوعة بالجزىء الاول فى هذه الثانية وهو ارتفاع يساوى السرعة

واذا خرج السائل من فتحة فى جدار رقيق فان المصروف الحقيقى لا يكون الا ٠,٦٢ مما تدل عليه النظرية وهذا الفرق آت من انقباض فى السلسول واذا رمزنا بالحرف مـ للمصروف النظرى وبالحرف ق لقطاع الفتحة وبالحرف ر لارتفاع السائل يكون فى الثانية الواحدة مـ = ق $\sqrt{2 \text{ء} \text{ر}}$ واذا رمزنا بالحرف م للمصروف الحقيقى يكون فى الثانية الواحدة م = ٠,٦٢ ق $\sqrt{2 \text{ء} \text{ر}}$

١٠٣ — انقباض سلسول السائل — اذا أمعنت النظر فى سلسول سائل خارج من فتحة فى جدار رقيق شاهدت أن شكله اسطوانى وأن قطره يأخذ فى الصغر حتى انه على بعد من الفتحة مساو لنصف قطرها لا يكون قطر السلسول الا ٠,٨ من قطر الفتحة ثم يصير شكل السلسول من هذه النقطة اسطوانيا فالسائل يكون اسطوانة قاعدتها الجزء المنقبض لا الفتحة نفسها وسطح هذا الجزء المنقبض هو ٠,٦٤ من سطح الفتحة ولذا يكون المصروف الحقيقى الخارج من فتحة فى جدار رقيق أقل من المصروف النظرى

و يفهم وجود هذا الانقباض اذا لوحظ ان الجزيئات الكائنة أعلى الفتحة ليست وحدها التى تسيل بل تشترك فى حركة السيلان جميع جزيئات السائل كما يرى ذلك من الحركة التى تكتسبها الاجسام الخفيفة الصغيرة الحجم اذا علقت فى السائل وعلى ذلك فالجزيئات الآتية بميل على حافات الفتحة تمنع نوعا الجزيئات الكائنة فى اتجاه عمودى على الفتحة من السقوط وتحفظ جزأ من الحركة المائلة الى أن تنعدم المركبة الافقية للسرعة بالمصادمات المتوالية فتبقى السرع العمودية وحدها

١٠٤ — تأثير الانابيب فى السيلان — اذا وفقت على فتحة فى جدار اناء أنبوبة قليلة الطول فلا يكون سيلان السائل منها كسيلانه من فتحة فى جدار رقيق فان كانت الانبوبة اسطوانية وطولها يساوى قطرها مرة ونصفا فالسائل يملأ الانبوبة كلها فى سيلانه ولا يشاهد انقباض فى السلسول و بقياس المصروف الحقيقى يشاهد أنه ٠,٨٢ من المصروف النظرى وحيث ان قطر السلسول لم يتغير فنقصان المصروف لا يكون الا نتيجة نقصان فى السرعة ويتبين

ذلك من خفض القطع المكافئ المرسوم بسائل خارج من انبوبة افقية وتعين سرعة السيلان بالحساب فالمصروف الحقيقى فى هذه الحالة يكون

$$م = ٠٫٨٢ \, ق \sqrt{٢ ع ر}$$

وقد يكون النقصان نتيجة انقباض فى السائل ونقصان فى سرعته معا كما يحصل ذلك اذا كان سيلان السائل من أنبوبة مخروطية غير أن قيمة النقصان الناتج عن الانقباض والناتج عن تغيير السرعة تختلف باختلاف شكل وكبر الانابيب فباستعمال مخروط زاويته ١٢° يحصل على مصروف يقرب كثيرا من المصروف النظرى هو فى الثانية الواحدة

$$م = ٠٫٩٥ \, ق \sqrt{٢ ع ر}$$

١٠٥ — تأثير الانابيب المرنة فى المصروف — اذا وفقت أنبوبة مرنة على فتحة فى جدار اناء فيه سائل كانبوبة من صمغ مرن شوهد أن المصروف فى هذه الظروف هو عين المصروف الحاصل عندما تكون الانبوبة ذات مقاومة قطرها مساو لقطر الانبوبة المرنة وحمل السائل واحد ولا يكون الامر كذلك اذا صار سيلان السائل متقطعا فان مصروف الانبوبة المرنة يكون أعظم من مصروف الانبوبة ذات المقاومة فضلا عن كون السائل الخارج من الانبوبة غير المرنة يكون متقطعا والخارج من الانبوبة المرنة يكون منتظما

١٠٦ — حركة السوائل فى الانابيب — بسبب ما يحصل من احتكاك جزيئات السوائل المتحركة بملامسة جسم صلب أو سائل تكون السرعة المكتسبة بجزيئات خارجة من أنبوبة فى اناء فيه هذه الجزيئات تحمل حملا معينا أقل من السرعة التى تدل عليها دعوى (ترشيلى) وتكون أقل كلما كانت الانبوبة طويلة والاحتكاك الحاصل عن انتقال طبقتى سائل بعضهما ببعض يكون أعظم كلما كانت السرعة النسبية لاحدى الطبقتين أكبر من سرعة الطبقة الاخرى

وفى سيلان سائل فى أنبوبة تبطؤ حركة الطبقة الملامسة لجدار الانبوبة وهذه الطبقة تؤثر فى التى بعدها فتنقص سرعتها وهكذا حتى انه يمكن اعتبار السائل المتحرك فى انبوبة مكونا من طبقات مركزية لكل طبقة سرعة تخالف التى بعدها وتأخذ فى النقصان من المركز الى الدائر وبتمحيص سائل يجرى فى قناة مكشوفة مع صرف النظر عن احتكاك سطح السائل فى الهواء لضعف هذا الاحتكاك يرى للنقط المختلفة سرع مختلفة أكبرها سرعة الصف الموجود فى وسط السطح المكشوف

وفى

وفى هذه الاحوال المختلفة للحصول على المصروف الحقيقى يلزم ضرب القطاع فى سرعة متوسطة ترشد النظرية الى استنتاجها من بعض معلومات ماخوذة من التجربة

١٠٧ - حركة السوائل فى الانابيب الشعرية - قد بحث العالم (بوازى) عما يحصل فى حركة السوائل وهى فى انابيب شعرية فوصل الى هذه القوانين

القانون الاول - كميات السائل الجارية تحت ضغوط مختلفة مع تناسق الظروف متناسبة مع الضغط (دعوى تروشيلى تفيد أنها متناسبة مع الجذر التربيعى للضغط)

القانون الثانى - الكميات الجارية والظروف متناسقة تكون بعكس طول الانابيب (لادخل لاطوال الانابيب بناء على قاعدة تورشيلى لو فرضت حركة السوائل تامة)

القانون الثالث - المصروف متناسب مع الدرجة الرابعة لاقطار الانبوبة (معادلة المصروف تفيد أن حجم الماء المنصرف يكون متناسبا مع مربع الاقطار)

ولا تغير الحرارة هذا القانون وان كانت تغير العامل الذى يدخل فى المعادلة

١٠٨ - تركيب سلسول سائل - بالتامل فى سلسول ناتج عن مرور سائل من فتحة فى جدار رقيق يشاهد أن جزأ من طوله الكائن بعد الجزء المنقبض يكون فى شكل اسطوانة مخروطية خفيفا اذ اشفوف تام وجزء السلسول الذى بعد هذا يكون متعكرا ويشاهد فيه على ابعاد متساوية انتفاخات تسمى بطونا متوالية مع اختناقات تسمى عقدا

وسبب هذا الشكل أن سلسول السائل ليس هو الا مجموع نقط متميزة يسقط بعضها عقب بعض بازمنة صغيرة جدا متساوية والمسافة بين هذه النقط تكون فى الابتداء صغيرة ولكنها تزداد كلما بعدت النقطة عن الفتحة بسبب الحركة المعجلة التى تكتسبها كل واحدة منها وفى أثناء سقوط هذه النقط يتغير شكلها تغيرا زمانيا فتستطيل وتتفرطح على التوالى وبذلك يصغر قطرها الافقى ويكبر ولذلك يصغر ويكبر قطر السلسول وحيث ان الاسباب المحدثة لتغير شكل نقطة هى المحدثة لتغير أشكال باقى النقط فانتقال كل نقطة من شكل الى آخر يحصل فى عين المحلات التى حصل فيها انتقال التى قبلها وبسبب عظم سرعة الحركة كانت العين لا تشعر بالحالات المتتابعة لكل نقطة بل تشعر بمجموع هذه الاحوال وهذا ما يحدث الهيئة التى وصفناها

١٠٩ - الدورة الدموية - علم التشريح يدلنا على ان فى الحيوانات العالية لاسيما الانسان عضوا مجوفا عضليا يسمى القلب وهو فى الانسان منقسم الى تجويفين متميز أحدهما

عن الآخر ولو كانا ملتصقين هما القلب اليمينى والقلب اليسارى وكلاهما منقسم الى تجويفين هما الاذينان و و (شكل ٦٢) والبطينان ف ف منفصل كل من هذين التجويفين عن الآخر بصمام متحرك ويسمى صمام القلب اليمينى بالصمام ذى الشرافات الثلاث وصمام القلب اليسارى بالصمام ذى الشرافتين

ومن بطين القلب اليسارى يخرج وعاء أى أنبوبة مرنة تسمى بالاورطى وهذه تتفرع الى عدد من الاوعية يتزايد كلما بعدت من القلب وقطر الاوعية المتفرعة أصغر من قطر الاصلية من غير أن يكون ازدياد العدد متناسبا مع نقصان القطر ولذلك يزيد مجموع أقطار الاوعية كلما بعدت عن القلب والاورطى وما تفرع منه يسمى بالمجموع الشريانى للدورة الكبرى ا ا وهى كثيرة المرونة والمنبث من هذه الاوعية فى نهاية الاعضاء والانسجة يسمى بالاوعية الشعرية جـ وهى صغيرة القطر ذات تركيب مخصوص بعضها ينضم ببعض فتكون شبكة وعائية وتنضم الاوعية الشعرية بعضها الى بعض على التعاقب سائرة على العكس من الاوعية الشريانية آخذا عددها فى القلة ومجموع أقطارها

ش ٦٢

فى التناقص الى أن تنتهى الى القلب وهذه الاوعية الاخيرة جه ف تسمى المجموع الوريدى للدورة الكبرى وفى بعض الاوردة ثنيات غشائية تعمل عمل صمامات فتمنع الدم عن التقهقر فى الاوعية الشعرية ولا تمنعه عن العود الى القلب وتتميز الاوردة عن الشرايين بقلة مرونتها

وجميع الاوردة ماعدا أوردة القلب نفسه تنتهى الى وريدين الاجوف العلوى والاجوف السفلى وهما ينفتحان فى أذين القلب اليمينى ومجموع ذلك من بطين وشرايين وأوعية شعرية وأوردة وأذين يسمى بالدورة الكبرى

ومن

ومن البطين الايمن يخرج وعاء مرن هو الشريان الرئوى وهذا يتفرع فيكون مجموعا شريانيا للدورة الصغرى أ به وبانبثاثه فى المنسوج الخاص للرئة يكون الاوعية الشعرة الرئوية ب وهذه يتفم بعضها ببعض فتكون المجموع الوريدى للدورة الصغرى به ف

وجملة القول أنه يخرج من البطين الايمن شريان يكون مجموعا شبيها بالمتكون عن الاورطى ينتهى الى الاذين الايسر وهذا المجموع هو الدورة الصغرى

والصمام الفاصل لكل أذين عن البطين المقابل له يبيح اتصال أحد هذين التجويفين بالآخر وفى مبدأ كل من الاورطى والشريان الرئوى ثلاث صمامات هى الصمامات السينية وهى تمنع اتصال البطين بالشريان فى وقت الحاجة

ومما تقدم يعلم أن مجموع الجهاز الدورى تام الدوران يقسمه القلب الى قسمين مختلفى الطول وهو مملوء بسائل مخصوص هو الدم قد علقت فيه كرات صلبة هى الكرات الدموية الحمر والبيض

ولنبحث الآن عن الظواهر الطبيعية والميكانيكية التى مجلسها الجهاز الذى ذكرناه فنقول

ينقبض القلب انقباضات دورية ويحصل انقباض الاذين أولا ثم البطين وزمن الانقباض يسمى زمن (السيستول) ثم يتبع هذه الحركات زمنا ترجع فيه الالياف العضلية الى حالة الهدوء ويسمى هذا الزمن زمن (الدياستول)

والقلب بسبب طبيعته العضلية وتصالب ألياف عضلاته فى جميع الاتجاهات يعمل بانقباضه عمل طلومبة كابسة فيحصل دوران الدم فى جميع الدورة واتجاه هذا الدوران على حسب الصمامات فالدم يأتى باستمرار من الاوردة الى الاذين ويملؤه مدة الدياستول وبانقباض عضلات الاذين ينضغط الدم ولعدم امكان تقهقره الى الاوردة فان الصمام الاذينى البطينى ينفتح بسبب هذا الضغط فيمر الدم الى البطين وهو فى حالة الدياستول وبحصول السيستول ينغلق الصمام الاذينى البطينى وينفتح الصمام الفاصل بين البطين والمجموع الشريانى فينقذف الدم فى هذا المجموع وبعد الانقباض يعود البطين الى حجمه فتنغلق الصمامات السينية فتزول المواصلة بين المجموع الشريانى والبطين ومن ذلك يتبين أن الدم يصل الى الاذين باستمراره وخروجه من البطين يكون دوريا متقطعا

فالدم ينقذف فى الشرايين متقطعا بتأثير الانقباض البطينى وهو انقباض يساوى ضغطا مقدرا بعمود من الزئبق طوله ٠٫١٥ متر والدم المقذوف بهذه الكيفية والقوة لو كان قذفه فى أنابيب صلبة لكان سيلانه فيها متقطعا أما فى الشرايين فيعمل عملين هما دفع السائل الذى

أمامه وتمديد الشريان تمديدا محسوسا وبعودة هذه الشرايين الى قطرها الاصلى زمن الدياستول تحدث تقدم الموجود فيها بمرونة الشرايين فتنتظم سير الدم وتجعله مستمرا بدل أن يكون متقطعا وتنقص سرعة الدم كلما صغرت الشرايين بسبب ازدياد القطاع الكلى للشرايين وتنقص أيضا هذه السرعة باحتكاك الدم فى جدر الشرايين

فالدم حينئذ يصل الى الاوعية الشعرية وصولا مستمرا أو يكاد يكون مستمرا مع نقصان فى سرعته وسبب حركة الدم فى الاوعية الشعرية هو قذف القلب له واستمرار هذا القذف بمرونة الشرايين ووصول الدم الى الاوعية يكون بانتظام وبسرعة آخذة فى الازدياد وتكون هذه السرعة أعظم كلما اعتبرت نقطة قريبة من القلب بسبب أن القطاع الكلى للاوردة ينقص كلما قربت من القلب

ودفع الدم الموجود فى الاوعية الشعرية للموجود منه فى الاوردة سبب مهم فى حركة الدم فى هذه الاخيرة وليس هو السبب الوحيد لان وضع الصمامات الوريدية له كيفية بها ما يحصل من الضغط الخارجى يغلق هذه الصمامات ويدفع الدم نحو القلب والعضلات تضغط الاوردة ضغطا متقطعا فتعطى الدم قوة دافعة فضلا عن أن عود الاذين الى حجمه الاصلى بين الدياستول يزيد سعته فيحدث مصا فباجتماع هذه الاسباب يصل الدم الى الاذين ثم تتجدد جميع الظواهر التى ذكرناها وما يحصل فى دورة هو عين ما يحصل فى الاخرى

المطلب الثالث

ما يتعلق بالاجسام الغازية

خواص الغازات

١١٠ — قابلية الغازات للانضغاط ومرونتها — الغازات كالسوائل متميزة بكثرة حركة جزيئاتها وهى قابلة للانضغاط مرنة وقابليتها للانضغاط عظيمة جدا فحجم الغاز المضغوط بضغط جوّ واحد يصير الى النصف أما السوائل فقابليتها للضغط قليلة فالحجم من السائل اذا ضغط بضغط جوّ واحد كان مقدار نقصانه عبارة عن كسر ٠,٠٠٠٠٤٨ من حجمه

وتحقق قابلية ضغط الغازات ومرونتها بادخال كمية من غاز كالهواء فى اسطوانة مغلق أحد أطرافها يمر فيها مكبس يضغط فيشاهد نقصان حجم الغاز بتوغل المكبس فى هذه الاسطوانة وبزوال الضغط الواقع على المكبس يتقهقر الى أن يصير فى مكانه الاول بسبب مرونة الغاز

١١١ — قابلية الغاز للانتشار — تتميز الغازات عن السوائل بقابليتها للانتشار وهى قابليتها على جعل كتلة الغاز الى أن تشغل مايعرض لها من المسافات مهما كانت سعتها ولتحقيق ذلك بطريقة سهلة استعمل (اوتو) و (جريك) مثانة حبس فيها شيء من الهواء توضع تحت ناقوس الآلة المفرغة فبعمل الفراغ تنتفخ المثانة شيأ فشيأ وبادخال الهواء تحت الناقوس تهبط وترجع الى شكلها الاصلى

وهذه التجربة تدل على وجود نفور دائم بين جزيئات الغازات وبهذا النفور تضغط على جدر الاوانى التى فيها وهذا الضغط يسمى قوة مرونة الغازات

١١٢ — تكوّن الغازات — المشابهات المختلفة الكائنة بين السوائل والغازات تؤدى الى اعتبار الغازات مكونة من جزيئات منفصل بعضها عن بعض تامة الحركة مرنة كروية الشكل متوزعة بانتظام ومنقادة لقوّتى الجذب والنفور وشدة هاتين القوّتين تتغير بحسب المسافات بين الجزيئات

١١٣ — تطبيق قاعدة بسكال على الغازات — تنطبق هذه القاعدة على الغازات كانطباقها على السوائل فان التكوين الجزيئى لهما واحد

فاذا حصل ضغط فى كتلة غازية فى حالة موازنة فانه ينتقل الى جميع الاتجاهات ويكون واحدا فى السطوح المتساوية ويكون فى المختلفة متناسبا مع مسطحاتها والضغط الحاصل على جزء مستو يكون عموديا على هذا الجزء وغير متعلق باتجاه الضغط وهذا هو عين ماقررناه فى السوائل

١١٤ — وزن الغازات — للغازات وزن يستدل عليه بطريقة سهلة هى أن يعلق فى احدى كفتى ميزان دورق عمل فيه الفراغ ثم يوضع له فى الكفة الثانية عدل تحصل به موازنة عاتق الميزان فاذا أدخل فى الدورق غاز كالهواء اختلت هذه الموازنة ولا تعود الا بوضع صنج تعادل وزن الهواء فى كفة الميزان التى وضع فيها العدل وبعمل هذه التجربة مع الهواء واجراء التعديلات التى تتعلق بالحرارة يتبين أن اللتر الواحد من الهواء يزن على درجة صفر وضغط ٧٦٠ مليمتر ١٫٢٩٣ جم

١١٥ — ضغط الغازات — بتطبيق البراهين التى استعملت فى السوائل على الغازات يتوصل الى هاتين النتيجتين

(١) الضغط فى الغازات التى فى حالة توازن الحاصل فى نقط فى مستو افقى واحد يكون واحدا

(٢) كل جزء افقى من كتلة غازية يحمل ضغطا هو وزن العمود الغازى الذى يعلوه

وبناء على ذلك فكل نقطة من سطح الارض تكون مضغوطة بضغط هو وزن عمود الهواء الذى فى أعلاها

١١٦ — الوزن النوعى للغازات — علمنا أن للغازات ثقلا ولكن قوة انتشارها الناتجة عن تنافر الجزيئات تقاوم الى حد معين تاثير التثاقل فيها فيقف تقارب جزيئات الغازات بعضها من بعض متى صارت قوة النفور موازنة للضغط الحاصل عن التثاقل وقوة النفور تزداد كلما صغرت المسافة بين الجزيئات والحرارة تزيد فى قوى النفور الجزيئية والضغوط الخارجية تقرب الجزيئات بعضها من بعض أى انها تعمل عمل التثاقل فينتج من ذلك أن الوزن النوعى للغازات يختلف اختلافا عظيما باختلاف الحرارة والضغط فينقص نقصانا بينا بازدياد الحرارة ويزداد كثيرا بازدياد الضغط الخارجى ولذلك كان من الضرورى تعديل الوزن النوعى للغازات الى درجة حرارة وضغط معينين وقد جرت العادة برد الوزن النوعى الى ما يكون عليه فى درجة الجليد الآخذ فى الاصطهار والضغط المعتاد الذى هو ٧٦ سنتيمتر من الزئبق ولا تختلف الطريقة المستعملة لتعيين الوزن النوعى للغازات عن المستعملة لتعيين الوزن النوعى للسوائل اختلافا كليا لكن لما كانت كثافة الغازات صغيرة جدا استعمل لتعيينها كميات عظيمة من المادة ولذلك يؤخذ دورق من زجاج متسع ويوزن بعد عمل الفراغ فيه ثم يملأ بالغاز ثم بالماء المقطر وفى كل وزن تعين درجة الحرارة التى حصل عليها الوزن فى هذه الاوزان فيستدل بذلك على الثقل و للغاز وعلى الثقل وَ لحجم من الماء مساو لحجم الغاز الموزون أى يستدل على حجم الغاز ح ومن معرفة الثقل و والحجم ح يستدل على الكثافة ك لهذا الغاز باستخراجها من المعادلة و = ح ك ثم تعدل هذه الكثافة المتحصلة على درجة الحرارة والضغط الخارجيين الى ما تكون عليه فى درجة الصفر والضغط المعتاد وذلك بمعادلات نذكرها عند دراسة الحرارة وبتعيين كثافة الهواء هكذا يتبين أن كثافة هذا الغاز بالنسبة للماء هى ٠٫٠٠١٢٩٣ ومنها يستنتج ان الليتر الواحد من الهواء على درجة الصفر والضغط المعتاد يزن ١٫٢٩٣ جم

ولسهولة مقارنة الاوزان النوعية بعضها ببعض تعين كثافة الغازات بالنسبة لكثافة أحدها ماخوذة وحدة وقد جرت العادة بجعل كثافة الهواء هذه وحدة لكثافة الغازات الاخر وقد اشار العالم الكيماوى (ورتس) بجعل كثافة الايدروجين هى الوحدة وفى ذلك مزيتان الاولى ان كثافة الغاز مضروبة فى ٢ تصير وزن جزيئه الثانية عدم تغير هذه الكثافة لان الايدروجين جسم بسيط تركيبه غير قابل للتغير وأما الهواء فلكونه مخلوطا كان تركيبه قابلا للتغير

للتغير ولهذا كانت كثافته كذلك ومن ثم يتغير الوزن النوعي المقارن بها وهاك جدولا يشتمل على كثافة بعض الغازات والابخرة بالنسبة للهواء وكثافتها بالنسبة للايدروجين ووزن جزيئها

	كثافة بالنسبة للهواء واحد	كثافة بالنسبة للايدروجين واحد	الوزن الجزيئي
اوكسيجين	١٫١٠٥٦	١٦	٣٢
ايدروجين	٠٫٠٦٩٢٦	١	٢
ازوت	٠٫٩٧١٤	١٤	٢٨
زئبق	٦٫٩٧٦	١٠٠٫٧٤	٢٠٠
حمض كلور ايدريك	١٫٢٧٨	١٨٫٠٧	٣٦٫٥
فوسفور	٤٫٥	٦٣٫٩	١٢٤
زرنيخ	١٠٫٢٠	١٥٣٫٠٠	٣٠٠

١١٧ — مايفقده الجسم المغمور في الهواء من وزنه — علمنا أن الاجسام المغمورة في سائل تفقد من وزنها بقدر وزن ماتزيغه من هذا السائل وقاعدة (ارشميدس) هذه تنطبق أيضا على الغازات لانها أيضا بسبب مافي جزيئاتها من الحركة التامة تنقل كالسوائل الضغط الى جميع الاتجاهات على التساوي ولذا كان كل جسم غمر في غاز كالهواء يفقد من وزنه بقدر وزن ماأزاغه من هذا الغاز لان الضغط الحاصل على السطح السفلي لهذا الجسم يزيد عن الحاصل على السطح العلوي له بقدر وزن عمود من غاز ارتفاعه المسافة الرأسية بين السطحين (راجع قاعدة ارشميدس)

ويتحقق ذلك عملا بان يعلق في طرفي عاتق كعاتق الميزان كرتان احداهما مجوفة والاخرى مصمتة مختلفتي الحجم قريبتي الوزن والمصمتة معلقة في لبوس يتحرك على العاتق فتوضع الكرتان على بعد من نقطة تعليق العاتق بحيث تكون الكرة الصغيرة موازنة للكبيرة فيكون العاتق بذلك افقيا متى كان في الهواء فاذا وضع هكذا تحت ناقوس الآلة المفرغة فان الموازنة تختل بتخلخل الهواء فيميل العاتق شيأ فشيأ الى أسفل من جهة الكرة الكبيرة ويصير العاتق افقيا بدخول الهواء وماذلك الا لكون قوة الدفع من أسفل لاعلى عظيمة في الكرة الشاغلة لحجم كبير صغيرة في الاخرى وحيث ان الموازنة كانت موجودة بوجود قوتي دفع مختلفتين فبزوالهما تزول الموازنة الحاصلة معهما فيسقط العاتق نحو الكرة التي فقدت قوة

دفع أكثر وهى الكبرى ولذلك لا يحصل بوزن جسم فى الهواء على الحقيقة بل على وزنه الظاهر وللحصول على وزنه الحقيقى يلزم أن يضاف الى الوزن الاول وزن حجم الهواء الذى أزاغه الجسم وزد على ذلك أنه يلزم احتساب ما يفقده وزن الصنج المستعملة بسبب ما تزيغه من الهواء وفى غالب الاحوال لا تفعل هذه التعديلات خصوصا اذا كان الجسم الموزون صلبا لان كثافة الهواء صغيرة بالنسبة لكثافة الجوامد والسوائل فيكون ما تفقده من وزنها بسبب ما أزاغته من الهواء قليلا لا يساوى النظر اليه اما اذا كان الجسم الموزون قليل الكثافة كبير الحجم فان تعديل وزنه يصير أمر الازما ولعمل هذا التعديل نفرض ان و وزن الجسم الحقيقى أى وزنه فى الفراغ و د كثافته على درجة الحرارة والضغط الحاصل فيه وقت العمل فوزن الجسم فى الهواء يكون وزنه الحقيقى ناقص وزن حجم من الهواء مساو لحجمه أى يكون

$$و' = و - \frac{و}{د} ح \quad (ح \text{ كثافة الهواء})$$

واذا كان وزن الصنج الحقيقى أى وزنه فى الفراغ ص وهو المرقوم عليها وكثافة المادة المصنوعة منها م فوزنها فى الهواء ص' هو وزنها الحقيقى ناقص وزن حجم من الهواء يساوى حجمها أى ان

$$ص' = ص - \frac{ص}{م} ح$$

وحيث ان ثقل هذه الصنج فى الهواء يعادل ثقل الجسم فى الهواء أيضا فيكون

$$و - \frac{و}{د} ح = ص - \frac{ص}{م} ح$$

ومنها

$$و \left(1 - \frac{ح}{د}\right) = ص \left(1 - \frac{ح}{م}\right)$$

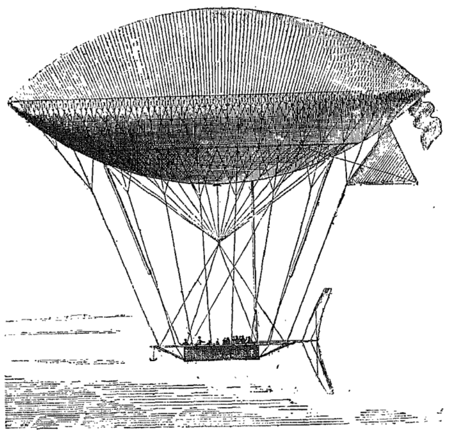
ومنها

$$و = ص \frac{(م - ح) د}{(د - ح) م}$$

١١٨ — القباب الطيارة — هى أحد تطبيقات قاعدة (ارشميدس) على الهواء فهى كرات من انسجة خفيفة لا تسمح للغازات بالمرور منها مملوءة بالهواء الحار أو الايدروجين أو غاز آخر أخف من الهواء بحيث يصير وزنها أخف من وزن حجم مساو لها من الهواء فترتفع فيه وتسبح وقد تغير شكل القباب الطيارة بمرور الازمان وأول من اقترح طريقة عملية لاكساب القباب الطيارة سرعة مقصودة هو (جيفار) بتجربتين فعلهما وذلك أنه استعمل

حلزونيات

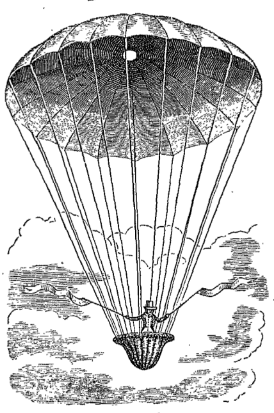
حلزونيات تحرك بالبخار لتسيير بها القباب (وشكل ٦٣) هو القبة التي جهزها (دپوى دلوم) اجابة لطلب الحكومة الوطنية الفرنساوية سنة ١٨٧٠ للسياحة بها في الهواء ولكنها لم تجرب الا سنة ١٨٧٢ وهي تحرك بحلزونيات مسلطة على فروع لها أجنحة من نوع من القماش تحركها رجال فتكتسب بذلك حركة مقدارها ٢٫٥ متر في الثانية وقد وضع لها دفة من القماش لتوجهها في الاتجاه المطلوب وأكسبها شكلا مستطيلا يسهل حركتها في الهواء وزيادة على ذلك فانه وضع في داخلها قبة أصغر منها بعشر مرات يمكن ملؤها بالهواء اذا اريد وذلك لتبقى القبة دائما على شكلها ولو تغير ضغط الهواء في الصعود والهبوط لانه رأى ثبات الشكل ضروريا لموازنة القبة



ش ٦٣

١١٩ — مانعة السقوط — المولعون بالسياحة في الهواء يتخذون معهم من باب الاحتياط جهازا كان لاختراعه رنة هو مانعة السقوط وهو جهاز يدل اسمه على المقصود منه وهو عبارة عن قماش مستدير متسع مثقوب من الوسط يشبه شمسية متسعة (شكل ٦٤) في دائره أحبل يعلق فيها مقعد المسافر في القبة الطيارة وتعلق مانعة السقوط أيضا وهي مغلقة في القبة الطيارة بحبال بحيث يكون المقعد مرتبطا بمانعة السقوط و بالقبة الطيارة

فاذا أراد المسافر السقوط لسبب من الاسباب كانفجار فى القبة الطيارة قطع الحبال الرابطة للمقعد بالقبة الطيارة والحبال الرابطة لمانعة السقوط بالقبة أيضا فتسقط المانعة مع المقعد بسرعة معجلة أولا ولكن مقاومة الهواء لسقوطها تفتحها فتقل سرعة السقوط كثيرا فيكون نزول المسافر هينا لا يصادم الارض بشدة وما تحدثه مانعة السقوط من تقليل سرعة الهبوط عظيم جدا فان (سيقل) قطع بمانعة السقوط ارتفاعا قدره ١٨٠٠ متر فى ٤٥ دقيقة ولو هبط من غير مانعة السقوط لقطع هذه المسافة فى ١٩ دقيقة وما ذلك الا لمقاومة الهواء لمانعة السقوط



ش ٦٤

أما الثقب الموجود فى وسط مانعة السقوط فهو ليمر الهواء المضغوط منه ولولا ه لمر من أسفل فيحدث فيها حركات تذبذبية تتعب راكبها فضلا عن كونها خطرة مخيفة

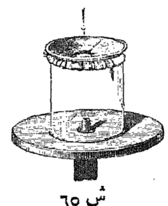
١٢٠ — الهواء الجوى وضغطه — الهواء الجوى هو الكتلة الغازية المحيطة بالكرة الارضية وهو كسائر الغازات ذو وزن واذا تصورنا أنه مقسوم الى طبقات افقية فبالضرورة كل طبقة تحمل وزن ما فوقها فتكون كل طبقة ضاغطة على ما دونها وحيث ان هذا الضغط ينقص من أسفل الى أعلى بنقصان عدد الطبقات فيكون الهواء الجوى أكثر تخلخلا كلما ارتفع فى الجو

ومع وجود قوة انتشار فى الهواء كباقى الغازات فان جزيئات الهواء لا تتباعد وتنتشر لا الى نهاية فى المسافة الفلكية لان قوة الانتشار أو النفور بين الجزيئات تنقص بازدياد المسافة بين الجزيئات وتنقص أيضا بانخفاض الحرارة وهذه الثانية آخذة فى الانخفاض من سطح الارض الى المسافات الفلكية فدرجة الحرارة فى المسافات الفلكية تبلغ ١٨٠ — وعلى ذلك لابد أن يكون للهواء الجوى حد فى الارتفاع وهو حد تكون فيه قوة انتشار الجزيئات نحو المسافات الفلكية موازنة لتأثير التثاقل الجاذب لها نحو مركز الارض

وقد

وقدقدّر ارتفاع الجوّ بحسب وزنه وتناقص كثافته وبعض ظواهر اخر بين ٣٢٠ كيلومتر و ٣٤٠ كيلومتر وبعد ذلك يكون الفراغ التام وحيث علم ان الليتر الواحد يزن ١٫٢٩٣ جم فاذا اعتبرنا كتلة الهواء المحيطة بسطح الارض كان الضغط الواقع منها على هذا السطح عظيما ويثبت هذا الضغط بهذه التجارب

١٣١ — ثاقب المثانة ونصفا كرة (مجديبورج) — ثاقب المثانة هو اسطوانة من زجاج أغلق أحد طرفيها بغشاء من البودريش اغلاقا جيدا والطرف الآخر حافته مصنفرة منتظمة فتوضع هذه الاسطوانة على قرص الآلة المفرغة (شكل ٦٥) بعد تضميخ حافة الطرف المفتوح بالشحم حتى تلتصق هذه الحافة بقرص الآلة فتمتنع المواصلة بين باطن الاسطوانة وخارجها فتى ابتدأ حصول الفراغ فى هذه الاسطوانة فان الغشاء ينبعج بتأثير ضغط الهواء فيه ثم ينفجر بفرقعة شديدة تحصل من دخول الهواء فجأة


ش ٦٥

ونصفا كرة مجديبورج (١) هما نصفا كرة مجوّفة من النحاس (شكل ٦٦) قطرها بين ١٠ و ١٢ سنتيمتر على حافة كل واحدة منهما دائرة من الجلد منداة بالشحم ليستمر الفراغ فيهما متى فعل ولأحد النصفين حنفية يمكن تركيبها على الآلة المفرغة وللآخر حلقة بها يمكن جذب أحد النصفين عن الآخر بفصلهما فتى كان النصفان مملوءين بالهواء فان فصل أحدهما عن الآخر يكون سهلا لموازنة قوّة انتشار الهواء داخلهما القوّة انتشاره خارجهما ومتى عمل الفراغ كان فصلهما لا يحصل الا بجهود عظيم

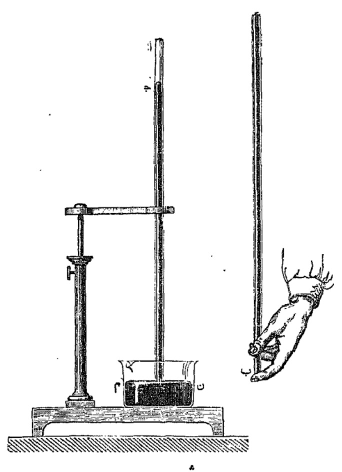

ش ٦٦

١٣٢ — تجربة (تورشيلى) — قد أثبت (تورشيلى) تلميذ (جليليه) هذا الضغط بطريقة بديعة سلكها سنة ١٦٤٣ بان ملأ بالزئبق أنبوبة من زجاج اب (شكل ٦٧)

---

(١) مجديبورج البلد الذى اخترعت فيه هذه الآلة ومخترعها هو (أوتو).

طولها متر مسدودة الطرف ا وبعد أن سد طرفها الثانى ب بالابهام نكسها وجعل الطرف المسدود بالابهام الى أسفل وغمره فى حوض محتو على الزئبق فبعد أن أبعد الاصبع رأى انخفاض الزئبق الى أن صار ارتفاعه أعلى من سطح الزئبق من الذى فى الحوض بقدر ٧٦ سنتيمتر تقريبا وبعد ذلك استمر هذا الارتفاع بلا تغير وارتفاع الزئبق فى الانبوبة انما هو لضغط الهواء على سطح الزئبق فى الحوض اذ لو كان هذا الضغط معدوما لكان سطح الزئبق داخل الانبوبة وخارجها واحدا كما تقتضيه قاعدة موازنة السوائل فى الاوانى المتواصلة



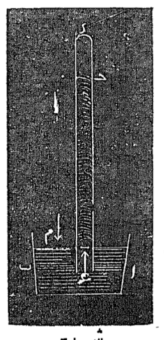
ش ٦٧

١٣٣ ــ تجارب (بسكال) و(بريه) ــ قد حقق بسكال تجربة (تورشلى) سنة ١٦٤٦ باستعمال أنابيب مختلفة القطر والطول ملئت بسوائل مختلفة وظهر أن ارتفاع السوائل فى الانابيب على العكس من كثافة السوائل فاذا كان ارتفاع الزئبق فى الانبوبة ٠٫٧٦ متر فان ارتفاع الماء يكون ٠٫٧٦ × ١٣٫٥٩

وحقق أيضا أن قطر الانبوبة وشكلها وميلها ليس لها تأثير فى الارتفاع العمودى للسوائل فى الانابيب

ولما كان من رأيه أن ارتفاع السوائل فى هذه الانابيب هو بسبب ضغط الهواء على سطح السائل خارجها ولذا يقل ارتفاع هذه السوائل فى الانابيب كلما ارتفعت الاجهزة فى الجو أشار على (بريه) باعادة تجربة (تورشلى) فى قمة جبل (بوى دودوم) فاعادها سنة ١٦٤٨ حين عمل التجربة عينها فى أسفل الجبل فى مدينة (كليرمون) وهى منخفضة عن الجبل بقدر ٩٧٥ متر فكان ارتفاع الزئبق فى الانبوبة فى أعلى الجبل أقل من ارتفاعه فى المدينة بقدر ٨٤ ملليمتر وهو فرق لا يمكن نسبته الا للفرق فى ضغط الهواء الجوى

١٣٤ - قياس ضغط الهواء - يقاس ضغط الهواء بان يقارن هذا الضغط بضغط سائل متفق عليه هو الزئبق ففي تجربة (تورشلي) رأينا أن الزئبق ارتفع في الانبوبة بسبب ضغط الهواء الى ٠,٧٦ متر فضغط هذا العمود الزئبقي مساو لضغط الهواء الآن الو رجعنا الى هذه التجربة وأخذنا في سطح الزئبق اب (شكل ٦٨) سطحين متساويين (نحو سنتيمتر مربع) أحدهما ع في داخل الانبوبة والآخر م خارجها وكان في مستو أفقي واحد فلا بد أن يكون الضغط الواقع عليهما واحدا اذ بدون ذلك لا تحصل الموازنة والضغط الحاصل على السطح م هو ضغط الهواء الجوّي والحاصل على السطح ع هو ضغط عمود الزئبق الذي يعلوه هذا السطح وحينئذ فوزن هذا العمود يعادل ضغط الهواء الجوّي وهو حينئذ قياس له فاذا رمزنا بالحرف ض الى ضغط الهواء الحاصل على وحدة السطح (قدر سنتيمتر مربع مثلا) فقيمته مقدرة بالجرام تؤخذ من هذه المعادلة


ش ٦٨

ض = ١ × ع × ك

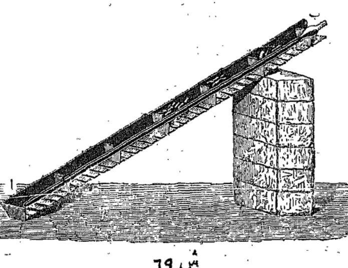
ع رمز لارتفاع الزئبق في الانبوبة و ك رمز لكثافته لان ما يعادل ضغط الهواء على هذا السطح هو وزن عمود الزئبق المرتفع في الانبوبة وقاعدته مساوية للسطح المضغوط ووزن هذا العمود هو حاصل ضرب حجمه (١ × ع) في كثافته ك فاذا فرضنا الارتفاع ع مساويا ٠,٧٦ متر (وهو الارتفاع المعتاد) كان الضغط الجوّي هو عبارة عن ٠,٧٦ × ١٣,٥٩ لان السنتيمتر المكعب من هذا الاخير يزن ١٣,٥٩ جم أي كان الضغط ١٠٣٣ جم أو ١,٠٣٣ كيلوجرام وبهذا السبب يكون الضغط الجوّي الحاصل على متر مربع مساويا ١٠٣٣٠ كيلوجرام والحاصل على السطح س معبرا عنه بالمتر يساوي ١٠٣٣٠ × س كيلوجرام ولكون الضغط ض متناسبا دائما مع الارتفاع ع جرت العادة بالدلالة على الضغط الجوي بارتفاع عمود الزئبق فاذا قيل ان الضغط الجوّي يساوي ٧٥ سنتيمتر مثلا كان معنى ذلك أن الضغط الحاصل على سطح مهما كانت سعته يساوي وزن عمود من الزئبق مساو له في السطح وارتفاعه ٧٥ سنتيمتر

١٣٥ - الضغط الحاصل على جسم الانسان - الضغط الاعتيادي للهواء على شاطئ البحار هو ٧٦ سنتيمتر من الزئبق وعلى ذلك فقيمة هذا الضغط الواقع على كل سنتيمتر مربع

من جسم الانسان مقدرة بالجرام تساوى ١٠٣٣ جراما وحيث ان مسطح جسم الانسان المتوسط القامة والعود هو متر مربع ونصف فقيمة الضغط الجوى الحاصل عليه تساوى ١٥٥٠٠ كيلوجرام ويخيل الينا أن ضغطا عظيما كهذا لا يتحمله الجسم وأن هذا الضغط يشدخه ومع ذلك فالجسم يقاومه بضد الفعل الحاصل من السوائل والغازات الموجودة فى البنية فاعضاء البنية ماضية فى حركتها لا تعوق بتأثير هذا الضغط لانه يحصل فى جميع الاتجاهات فتكون هذه الاعضاء منضغطة فى جميع الاتجاهات بضغوط متساوية متضادة يعادل بعضها بعضا ومن شان ضغط الهواء على الجسم تثبيته لا تعويقه ولذلك ترى الانسان يحس بعال فى الايام التى يكون فيها ضغط الهواء ضعيفا

١٣٦ – البارومتر وأنواعه – الآلة المستعملة لقياس الضغط الجوى تسمى بارومتر وهو أنواع

البارومتر ذو الطست – هو جهاز (تورشلى) موضوع بكيفية بها يمكن قياس الضغط فى أى وقت من أوقات اليوم ولتكون الدلالات المأخوذة من البارومتر حقيقية يلزم أن يكون الجزء العلوى من الانبوبة ويسمى الخزانة البارومترية ا حـ من الشكل المتقدم ٦٧ خاليا عن كل غاز و بخار لان وجود شئ فيها يحدث انخفاض العمود الزئبقى بشدة مرونته ولهذا الغرض تؤخذ أنبوبة من زجاج طولها ٨٥ سنتيمترا تقريبا متسعة بقدر الامكان كى تكون الظواهر الشعرية قليلة الوضوح فيها ثم يسد احد طرفيها او يلحم بالطرف الآخر كرة ثم تملأ هذه الكرة بالزئبق النقى ثم توضع على مصبع من شبكة معدنية موضوعة بالميل كما فى (شكل ٦٩) ويوضع على هذا المصبع جمر متقد بحيث يغلى جميع أجزاء العمود الزئبقى على التعاقب من أعلى الى أسفل وبهذه



ش ٦٩

الواسطة تطرد الرطوبة والفقاعات الهوائية التى تكون فى الزئبق والتى تكون ملتصقة بجدر الانبوبة ومتى ظهر سطح الزئبق لماعا متواصلا من جميع أجزائه تترك الانبوبة لتبرد ثم تفصل الكرة ب عن الانبوبة حيث لم يبق لها عمل لان وضعها انما كان لمنع الزئبق عن

الخروج

الخروج من الانبوبة ثم يسد بالاصبع طرف الانبوبة المفتوح وتنكس فى الطست و يعلم أن الانبوبة وما فيها من الزئبق تجردا عن الهواء والرطوبة بالتمام فان كانت الخزانة البارومترية خالية عن الهواء والابخرة امتلأت بالزئبق امتلاء كليا وسمع للزئبق عند مصادمته لقمة الانبوبة صوت جاف معدنى

ولمعرفة الضغط الجوى بهذا الجهاز فى المنازل يوضع على قائمة من خشب مدرجة بالمليمتر والسنتيمتر بحيث يكون صفر التدريج فى محاذاة سطح الزئبق فى الطست و يؤخذ ارتفاع العمود الزئبق الدرجة التى يصل اليها قمة عمود الزئبق فى الانبوبة و فى هذه الحالة ارتفاع عمود الزئبق فى الطست مفروض ثابت لا يتغير مع أنه فى الحقيقة يتغير باختلاف الضغط الجوى فبازدياد الضغط يرتفع سطح الزئبق فى الانبوبة فينخفض سطحه فى الطست وبانخفاض الضغط ينخفض سطح الزئبق فى الانبوبة فيرتفع فى الطست وبذلك يكون صفر التدريج متغيرا يرتفع احيانا و ينخفض أخرى ولذلك كانت الدلالات المأخوذة غير محكمة

وفى المعامل يستعمل البارومتر ذو الطست (شكل ٧٠) وهو لا يختلف عن الذى ذكرناه الا فى كون الطست من الحديد الزهرى باحد جوانبه قطعة منحنية على هيئة زاوية قائمة يعرف فيها مسمار برمة أه ينتهى كل طرف من طرفيه بقطعة مذببة من العاج وطول هذا المسمار من الطرف المذبب الى الآخر ثابت يعلم بقياسه مرة واحدة

ولقياس ارتفاع الزئبق من هذا الجهاز يبدأ بتحريك المسمار الى أن تصير قمته السفلى ملامسة لسطح الزئبق وهذا يكون متى رأى الصانع ان الطرف المذبب السفلى للمسمار فى ملامسة صورته المنعكسة فى الزئبق وبعد ذلك يقاس الارتفاع بين الطرف العلوى ا للمسمار وقمة العمود الزئبق ب فى الانبوبة بواسطة كتيتومتر و يضاف اليه طول المسمار فيكون المجموع هو طول العمود الزئبق من سطح الزئبق فى الطست الى قمة الزئبق فى الانبوبة

ش ٧٠

والكتيتومتر آلة تركب على الخصوص من مسطرة مدرجة توضع وضعا عموديا وعليها تنزلق نظارة يمكن معها رؤية سطح الزئبق والابرة من بعد وفى حالة انزلاق النظارة تكون فى مستويات يوازى بعضها بعضا

١٣٧ ــ بارومتر (فورتن) ــ البارومتر المسمى بهذا الاسم نسبة لمخترعه هو بارومتر ذو طست ولكنه سهل النقل وبه يمكن عمل مشاهدات محكمة ويختلف عن البارومتر المتقدم الذكر بأن قاعدة طسته من جلد الاروى يرتفع وينخفض على حسب الارادة وبذلك يتأتى جعل سطح الزئبق فى الطست مقابلا لصفر التدريج وهذا الطست مكوّن كما ترى من (شكل ٧١) من أسطوانة من زجاج ب قطرها ٤ سنتيمتر تقريبا وارتفاعها ٣ وجزؤها العلوى مغلق بقرص من خشب يعلوه غطاء من نحاس م ومن وسط هذا القرص والغطاء تمر الانبوبة البارومترية ەە وطرفها المنغمر فى زئبق الطست مسحوب والانبوبة والطست منضم بعضهما الى بعض بجلد الاروى جه هه بواسطة رباطين شديدين أحدهما فى جه مثبت فى اختناق فى الانبوبة والآخر فى كه مثبت فى انبوبة من نحاس مثبتة فى مركز الغطاء وهذا الارتباط كاف فى منع خروج الزئبق من الطست عند انقلاب وضع البارومتر ولا يمنع ضغط الهواء الجوّى عن الزئبق فان هذا يحصل من خلال مسام جلد الاروى على زئبق الطست

والجزء السفلى من الاسطوانة ب يلتصق باسطوانة من الخشب ز ز وعلى حافة هذه الاخيرة فى ى ى يثبت جلد الاروى م ن المكون لقعر الطست وفى مركز هذا الجلد زرّ من الخشب ع يرتكز عليه مسمار برمة ح وهو الذى بادارته الى اليمين أو اليسار ينخفض أو يرتفع الزرّ ع ومعه الجلد م ن فيرتفع أو ينخفض الزئبق فاذا أريد عمل مشاهدة أدير المسمار الى أن يصير سطح الزئبق مماسا لجسم مذبب من العاج ا مثبت فى قعر الغطاء ويعرف تماس سطح الزئبق مع هذا المسمار حين تكون ذبابة هذا الجزء مماسة لذبابة صورته المنعكسة على سطح الزئبق وجميع الجزء السفلى من الطست مغمد فى غمد من النحاس ق وهذا الغمد مرتبط بغطاء الطست بثلاثة مسامير ك ك ك

ش ٧١

أما الانبوبة البارومترية فمحفوظة فى غمد من نحاس لوقايتها وهو كما فى (شكل ٧٢) الذى هو رسم البارومتر محكما مشقوق من جزئه العلوى وبه كوّتان مستطيلتان متقابلتان منهما يرى الزئبق فى الانبوبة وعلى هذا الغمد مسطرة مدرجة بالمليمترات صفرها يقابل الجزء المذبب من الجسم العاجى و ويتحرك على الغمد بواسطة مسمار حلقة معدنية هى ڤرنييه معها يؤخذ

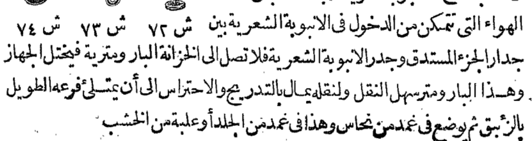
ارتفاع

ارتفاع الزئبق فى الانبوبة بحيث ان هذا الارتفاع لايختلف عن الحقيقة با كثر من عشر مللمتر بأن تجعل الحافة السفلى لهذه الحلقة مماسة لسطح الزئبق ولتكون دلالة هذا البارومتر صحيحة يلزم أن تكون الانبوبة موضوعة وضعا عموديا فان كانت مائلة كان الارتفاع البارومترى أكثر من الارتفاع الحقيقى ولنقل هذا الجهاز من مكان الى آخر يرفع بواسطة المسمار البرمة جلد الاروى الى أن يملا الزئبق الانبوبة والطست واذذاك يمكن نقله بل وقلبه من غير أن يخشى دخول الهواء فيه

١٣٨ — البارومتر الممص — هذا البارومتر يتركب من أنبوبة منحنية الى فرعين متوازيين قطرهما واحد أحدهما طويل والآخر قصير والطويل مغلق والقصير ذو فتحة صغيرة بها يضغط الهواء على سطح الزئبق

وقد ضم (غيلوسالك) الفرعين ا و و (شكل ٧٣) بانبوبة شعرية د ليصعب دخول الهواء فى الخزانة البارومترية عند قلب الجهاز ويضغط الهواء على سطح الزئبق ح من الفتحة و

وارتفاع عمود الزئبق المعادل للضغط الجوى هو المسافة العمودية ح و بين سطحى الزئبق فى الانبوبتين ويقاس هذا الارتفاع بمقياس مدرج بالمللمترات تدريجين أحدهما صاعد والآخر نازل صفرهما مشترك موضوع فى وسط الارتفاع فتجمع المسافة بين صفر التدريج وسطح الزئبق فى احدى الانبوبتين الى المسافة بين الصفر وسطح الزئبق فى الاخرى وقد نوع (بونتين) أحد صناع الآلات البارومتر ذا الممص لغيلوسالك بان انهى الطرف الطويل جهة الفرع القصير بجزء مستدق پ (شكل ٧٤) وغلفه بانتفاخ فى أنبوبة شعرية وبذلك تحبس فقاعات الهواء التى تتمكن من الدخول فى الانبوبة الشعرية بين



ش ٧٢ ش ٧٣ ش ٧٤

جدار الجزء المستدق وجدر الانبوبة الشعرية فلا تصل الى الخزانة البارومترية فيختل الجهاز وهذا البارومتر سهل النقل ولنقله يمال بالتدريج والاحتراس الى أن يمتلئ فرعه الطويل بالزئبق ثم يوضع فى غمد من نحاس وهذا فى غمد من الجلد أو علبة من الخشب

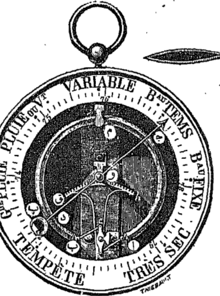
١٢٩ - البارومتر ذو وجه الساعة - هو بارومتر ممص (شكل ٧٥) فرعه القصير ه مفتوح بالكلية وفيه أنبوبة من زجاج فيها قليل من الزئبق حتى تكون بذلك ثقيلا يسبح على سطح الزئبق الموجود فى الفرع القصير مع انغمار جزء منه فيه وهذا الثقيل ب معلق فى خيط من الحرير ملتف على بكرة م خفيفة سهلة الحركة ينتهى هذا الخيط بثقيل آخر ب وزنه أقل من وزن الثقيل الاول قليلا وفى محور البكرة عقرب مثبت فيه من مركز ثقله وبين العقرب والبكرة وجه ساعة أمامه يتحرك العقرب فاذا زاد الضغط الجوّى انخفض الزئبق فى الفرع القصير من الممص فينخفض الثقيل الذى فيه لازدياد وزنه عن وزن الثقيل الخارج عن هذا الفرع فيحدث بانخفاضه دوران العقرب فى أحد الاتجاهات واذا نقص الضغط الجوّى ارتفع الزئبق فى الفرع القصير فيرتفع الثقيل وبارتفاعه يتحرك العقرب فى اتجاه مضاد للاول

ويدرّج هذا البارومتر بمقارنته ببارومتر (فورتن)



ش ٧٥

١٣٠ - البارومتر المعدنى لبوردن - كثيرا ما يستعمل بارومترات لا تحتوى على الزئبق وبارومتر (بوردن) من أبسط هذه البارومترات وهو أنبوبة من النحاس الاصفر ا م ب (شكل ٧٦) مرنة رقيقة الجدران خالية عن الهواء (قطاعها مرسوم على يمين الشكل) منحنية فى هيئة دائرة ومثبتة من م فى علبة موضوعة فيها والطرفان المرسلان ا و ب متصلان برافعتين تحركان قوسا معدنيا مسننا ق وحركة هذا الاخير تنتقل معظمة الى محور و يحمل ابرة حد تتحرك على وجه مدرج فبازدياد الضغط الجوّى تتقارب اطراف الانبوبة بعضها الى بعض فتنتقل هذه الحركة الى القوس ثم الى الابرة وبنقصانه تتباعد فتحصل حركة الابرة فى اتجاه مضاد للاول وتدريج هذا البارومتر يحصل بمقارنته مع بارومتر (فورتن)



ش ٧٦

١٣١ — تعديل دلالات البارومتر — لتكون الدلالات الماخوذة من البارومتر محكمة يلزم تعديلها بالنسبة للحرارة والشعرية وبدون ذلك لا يحصل على ضغط الهواء الجوى بالدقة فاما بالنسبة للحرارة فلانها بتغيرها تغير كثافة الزئبق فيتغير طول العمود الزئبقى ولذلك جرت العادة برد جميع الدلالات الى ما تكون عليه الحرارة فى درجة الصفر وستقف على كيفية اجراء هذا التعديل عند دراسة تمدد الاجسام

وأما بالنسبة للشعرية فلانها تحدث انحطاطا فى العمود الزئبقى يكون عظيما كلما كان قطر الانبوبة صغيرا كما رأينا ذلك فى شرح الظواهر الشعرية ويكاد هذا الانحطاط يكون معدوما متى كان قطر الانبوبة الداخلى ازيد من ٢,٥ سنتيمتر ولذلك كان اجراؤه غير ضرورى فى الدلالات المأخوذة من البارومترالثابت ذى الطست لكبر قطر أنبوبته

واجراء هذا التعديل يستلزم معرفة قطر الانبوبة وسهم الهلالى أى المسافة بين سطحين متوازيين احدهما مار بقمة الهلالى والآخر بقاعدته وقد وضعت جداول منها يعرف مقدار هذا التعديل متى عرف قطر الانبوبة وسهم الهلالى وهاك جدولا يحتوى على التعديلات اللازم عملها فى دلالات البارومتر بالنسبة لاقطار الانبوبة وأطوال سهم الهلالى الواردة فيه

جدول تعديل دلالات البارومتر بالنسبة للشعرية

قطر الانبوبة	طول السهم بالمليمتر								
مللى	مليمتر ٠٫٢	مليمتر ٠٫٣	مليمتر ٠٫٤	مليمتر ٠٫٥	مليمتر ٠٫٦	مليمتر ٠٫٧	مليمتر ٠٫٨	مليمتر ٠٫٩	مليمتر ١٫٠٠
٢٫٠	٠٫٦٠	٠٫٧٩	١٫١٦	١٫٤١	١٫٦٥	١٫٨٦	٢٫٠٥	٢٫٢١	٢٫٣٥
٢٫٢	٠٫٤٩	٠٫٧٢	٠٫٩٥	١٫١٦	١٫٣٦	١٫٥٤	١٫٧١	١٫٨٣	١٫٩٨
٢٫٤	٠٫٤٠	٠٫٦٠	٠٫٧٩	٠٫٩٧	١٫١٤	١٫٢٩	١٫٤٤	١٫٥٧	١٫٦٨
٢٫٦	٠٫٣٤	٠٫٥٠	٠٫٦٦	٠٫٨١	٠٫٩٦	١٫٠٩	١٫٢٢	١٫٣٣	١٫٤٤
٢٫٨	٠٫٢٩	٠٫٤٣	٠٫٥٥	٠٫٦٩	٠٫٨٢	١٫٩٣	١٫٠٤	١٫١٤	١٫٢٤
٣٫٠	٠٫٢٤	٠٫٣٦	٠٫٤٨	٠٫٥٩	٠٫٧٠	٠٫٨٠	٠٫٩٠	٠٫٩٩	١٫٠٧
٣٫٢	٠٫٢١	٠٫٣١	٠٫٤١	٠٫٥١	٠٫٦٠	٠٫٦٩	٠٫٧٨	٠٫٨٦	٠٫٩٣
٣٫٤	٠٫١٨	٠٫٢٧	٠٫٣١	٠٫٤٤	٠٫٥٢	٠٫٦٠	٠٫٦٨	٠٫٧٥	٠٫٨١
٣٫٦	٠٫١٦	٠٫٢٣	٠٫٣١	٠٫٣٨	٠٫٤٦	٠٫٥٢	٠٫٥٩	٠٫٦٥	٠٫٧١
٣٫٨	٠٫١٤	٠٫٢١	٠٫٢٧	٠٫٣٤	٠٫٤٠	٠٫٤٦	٠٫٥٢	٠٫٥٧	٠٫٦٢
٤٫٠	٠٫١٢	٠٫١٨	٠٫٢٤	٠٫٣٠	٠٫٣٥	٠٫٤٠	٠٫٤٦	٠٫٥٠	٠٫٥٥
٤٫٢	٠٫١١	٠٫١٦	٠٫٢١	٠٫٢٦	٠٫٣١	٠٫٣٦	٠٫٤٠	٠٫٤٥	٠٫٤٩
٤٫٤	٠٫٠٩	٠٫١٤	٠٫١٩	٠٫٢٣	٠٫٢٧	٠٫٣٢	٠٫٣٦	٠٫٤٠	٠٫٤٥
٤٫٦	٠٫٠٨	٠٫١٢	٠٫١٦	٠٫٢٠	٠٫٢٤	٠٫٢٨	٠٫٣٢	٠٫٣٥	٠٫٣٨
٤٫٨	٠٫٠٧	٠٫١١	٠٫١٥	٠٫١٨	٠٫٢٢	٠٫٢٥	٠٫٢٨	٠٫٣١	٠٫٣٤
٥٫٠	٠٫٠٧	٠٫١٠	٠٫١٣	٠٫١٦	٠٫١٩	٠٫٢٢	٠٫٢٥	٠٫٢٨	٠٫٣١

ولاستعمال هذا الجدول يبحث فى النهر الاول الرأسى عن الرقم المساوى لقطر الانبوبة وفى النهر الاول الافقى عن الرقم المساوى لطول سهم الهلالى فالعدد الكائن فى تقاطع النهرين المبدوأين بهذين العددين هو مقدار المليمترات المطلوب اضافتها الى طول العمود الزئبقى لتعديل ماحصل فيه من الانحطاط بسبب الشعرية مثلا اذا كان ارتفاع العمود الزئبقى

فى

فى البارومتر قبل التعديل هـ وكان شعاع الانبوبة ٥ ملليمتر وطول السهم ٠,٦ ملليمتر فان الارتفاع البارومترى يصير هـ + ٠,١٩ ملليمتر

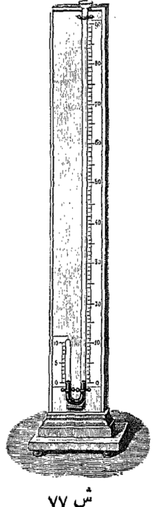
قانون ماريوط

١٣٢ — قانون ماريوط — حجوم كتلة معينة من الغازات تكون على النسبة العكسية من الضغط الواقع عليها بشرط عدم تغير الحرارة

هذا هو القانون المعروف بقانون ماريوط وهو قانون عرفه (بوايل) من لوندره و (ماريوط) من فرانسا

ولتحقيق هذا القانون تستعمل الانبوبة المسماة بأنبوبة (ماريوط) اذا اريد تحقيق القانون والضغط أكبر من الضغط الجوى أو يستعمل بارومتر ذو حوض اذا اريد تحقيقه والضغط أصغر من الضغط الجوّى

١٣٣ — تحقيق قانون ماريوط والضغط أكبر من الضغط الجوّى — تؤخذ أنبوبة ماريوط (شكل ٧٧) وهى أنبوبة منحنية ذات فرعين غير متساويين أقصرهما مسدود ومثبتة على لوح من خشب ويقابل الفرع القصير تدريج يدل على سعات متساوية وفى محاذاة الفرع الطويل تدريج يؤخذ منه الضغط بالسنتيمتر وصفر التدريجين على خط أفقى واحد



ش ٧٧

فيوضع من فتحة الانبوبة الطويلة زئبق الى أن يصير ارتفاع السائل واحدا فى الفرعين محاذيا لصفرى التدريجين كما فى الشكل المتقدم فيكون ضغط الهواء المحبوس فى الفرع القصير الواقع على سطح الزئبق فى هذا الفرع مساويا لضغط الهواء الجوى الواقع على سطح الزئبق فى الفرع الطويل بدليل أن السطحين فى مستو افقى واحد وهذا لا يتم الا اذا تساوى الضغط على السطحين واذا يكون فى الفرع القصير كتلة غازية معلومة الحجم والضغط الواقع عليها معلوم أيضا هو الضغط الجوّى وقت التجربة فيدخل فى الانبوبة الزئبق من فتحة الفرع الطويل الى أن تصير المسافة المشغولة بالهواء من الفرع القصير نصف ما كانت فان كانت المسافة ب ح المشغولة بالهواء ١٠

سنتيمترمكعب وضع الزئبق الى أن تصير ٥ سنتيمترمكعب كافى (شكل ٧٨) ثم تقاس المسافة بين حـ و ا أى بين سطحى الزئبق فى الفرع الطويل والقصير فيشاهد أنه مساو لضغط الجوّ وقت التجربة أى ان ضغط عمود الزئبق حـا يساوى جوّا واحدا فاذا أضيف اليه الضغط الجوى كان الضغط الواقع على الكتلة الغازية المحصورة فى الفرع القصير مساويا لجوّين وهو الذى أحال حجمها الى نصف ما كانت فلما صار الضغط ضعف ما كان آل حجم الغاز الى نصف ما كانت عليه كذلك ولو كبر الضغط الى أن صار مساويا لاربعة جواء اصغر حجم الغاز وصار ربع ما كان والضغط الواقع عليه يساوى جوّا واحدا

١٣٤ - تحقيق قانون (ماريوط) والضغط أصغر من الضغط الجوّى - لتحقيق هذا القانون والضغط أصغر من الضغط الجوى يمدّد الغاز بتعريضه لضغط آخذ فى التناقص ولذلك تؤخذ أنبوبة متساوية القطر فى جميع طولها على قدر الامكان مقسمة الى أجزاء متساوية الطول ثم يملأ منها بالزئبق ثلاثة أرباعها مثلا وتنكس على حوض عميق كالحوض پم (شكل ٧٩) وبعد ذلك تدخل هذه الانبوبة فى الحوض الى أن يصير سطح الزئبق داخلها فى محاذاة سطحه خارجها فبذلك يكون محبوسا فى الانبوبة حجم اب من الهواء على الضغط الجوى فتقاس المسافة التى شغلها حجم الهواء ثم ترفع الانبوبة الى أن يصير حجم الهواء احـ (شكل ٨٠) ضعف ما كان قبل بسبب نقصان الضغط فيرى ارتفاع الزئبق

ش ٨٠ ش ٧٩ ش ٧٨

فى الانبوبة وان هذا الارتفاع دحـ يساوى نصف الارتفاع البارومترى وقت التجربة

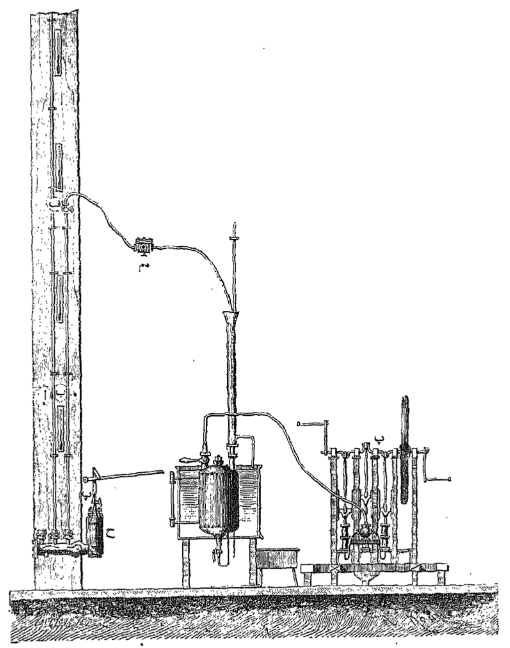
فالهواء

فالهواء الذى صار حجمه ضعف ما كان لم يكن ضغطه الانصف جوّفان مجموع قوة مرونته وثقل عمود الزئبق ح د يعادل ضغط الجوّ والعمود ح د وحده يساوى نصف جوّ

١٣٥ — دراسة محكمة لقانون ماريوط — لايمكن فى الاجهزة المتقدمة تغيير الضغط والحجم الاالى حدّ معين ولاحظ (فرداى) أن بعض الغازات كالنوشادر والسيانوجين والاندريد كبريتوز متى ضغط ضغطا قويا يستحيل الى سائل وان حجمها متى قرب من السيولة يصغر بالضغط صغرا أكثر مما يدل عليه قانون (ماريوط) فاستعمل (ديسبرتس) أجهزة بها يمكن ضغط الغازات ضغطا عظيما فثبت أن عدة من الغازات اذا ضغطت ضغطا واحدا آخذا فى الازدياد صغرت حجومها صغرا مختلفا فالاندريد كربونيك والايدروجين المكبرت والنوشادر والسيانوجين تنضغط أكثر من ضغط الهواء الجوّى والايدروجين ينضغط أوّلا كالهواء فاذا زاد الضغط عن ضغط ١٥ جوّا كان انضغاطه أقل وحقق (بوليه) نتائج (ديسبرتس) باستعماله جهازا فيه يمكن وضع غازين كالهواء والاندريد كربونيك تحت ضغط واحد وضغطهما فى آن واحد ضغطا واحدا وبذلك ثبت أن قانون (ماريوط) ليس قانونا عموميا فبحث (ديلون) و(أرجو) عما اذا كان هذا القانون ينطبق على الغاز الواحد فاستعملا جهازا أمكنهما توصيل ضغط الهواء فيه الى ضغط ٢٧ جوّا فتبين لهما أن الهواء ينضغط أكثر مما يدل عليه قانون (ماريوط) غير أن الفرق قليل جدا بحيث يصح نسبته الى الغلط العادىّ لهذه التجارب

وفى سنة ١٨٤٧ نشر الشهير (رينيول) تجاربه فى قابلية الغازات للضغط وكان لهذه التجارب صيت وشهرة واستعمل فى هذه التجارب جهازا لايختلف كثيرا عن الذى استعمله (ديلون) و(أرجو) غير أن فيه عدة محاسن واستعمله بطريقة معها يمكن احتساب أسباب الغلط التى لاتسلم منها هذه التجارب وهو (شكل ٨١) يتركب من أنبوبتين متوازيتين ا و ب ركب عليهما من أسفل طلمبة زئبق پ وبينهما وبين هذه الطلمبة حنفية تمنع اتصالهما بالطلمبة حتى لايختل عمود الزئبق وتتصل الانبوبة پ من أعلى بحنفية ف معها يمكن حفظ الغاز زمنا مضغوطا بعدّة جواء وتتصل بواسطة أنبوبة معدنية م بمستودع موضوع فى ماء متجدد درجة حرارته ثابتة ضغط الغاز فيه بعدّة جواء بالآلة پ وطول الانبوبة ب ثلاثة أمتار وهى من البلور متساوية القطر فى جميع طولها مدرجة الى أعلى بالمليمترات وتحمل علامتين تقسمان الانبوبة قسمين متساويى السعة الاول من الحنفية ف الى العلامة العليا فى الانبوبة والثانى من العلامة العليا الى السفلى وسير هذا الجهاز هو أن يضغط بالطلمبة ب الزئبق بالماء الموجود فى المستودع ع فاذا بلغ الزئبق فى الانبوبة پ

العلامة العليا أغلقت الحنفية الكائنة بينها وبين الطلمبة وفتحت الحنفية ف فيدخل في الانبوبة جزء من الغاز المضغوط فاذا بلغ انخفاض الزئبق الى العلامة السفلى أغلقت الحنفية ف وقيس ضغط الغاز بالفرق بين ارتفاع الزئبق فى الانبوبتين وبعد ذلك يضغط الزئبق بالطلمبة الى أن يصل سطحه الى العلامة العليا فيصل بذلك حجم الغاز الى النصف



ش ٨١

فيقاس ضغطه بالفرق بين سطح الزئبق فى الانبوبتين فيعلم بذلك هل كانت نسبة هذا الضغط الى ما قبله كالنسبة العكسية للحجوم أولا وان وجد فرق بين نتيجة التجربة وما يؤخذ من قانون (ماريوط) علم قدره واتجاهه وللعمل على ضغط أكبر من المتقدم تفتح الحنفية ف

ليدخل

ليدخل مقدار من الغاز المضغوط حتى ينخفض سطح الزئبق الى العلامة السفلى ثم تغلق حنفية ف وتفتح الحنفية بين الطلمبة والانبوبتين و يتم العمل كما تقدم وهكذا حتى يحصل على أعظم ضغط تسمح الانبوبة الطويلة بالحصول عليه

وكانت تجارب (رينيول) على الهواء والازوت والاندريدكربونيك فتبين أن حجوم الغازات الثلاثة تنقص بازدياد الضغط أكثر مما يدل عليه القانون وأن هذا الفرق بين نتيجة التجربة ومدلول القانون قليل فى الهواء والازوت كثير فى الاندريدكربونيك أى كثير مع الغاز القابل للسيولة بسهولة فانه عندما وصل الضغط الى ١٥ جوا صار حجم الاندريد كربونيك $\frac{١}{١٦}$ من حجمه الاصلى فمن جميع هذه التجارب يستدل على أن الغازات كلما قاربت درجة سيلانها بعدت عن قانون (ماريوط) أما الايدروجين فانه يبعد عن قانون (ماريوط) ولكن فى اتجاه مضاد للغازات الاخر بمعنى أنه بازدياد الضغط ينقص حجمه مقدارا أقل مما يدل عليه قانون (ماريوط) وقد أثبت كل من (مندولف) و (كريستوف) أن الهواء يبعد أيضا عن قانون (ماريوط) اذا نقص الضغط الواقع عليه بكيفية محسوسة الى أن يصير الضغط خمسة أعشار المليمتر وأن هذا البعد يكون أشد وضوحا كلما كان الضغط أضعف وأنه فى اتجاه مضاد لما رآه (رينيول) من بعد انقياد الهواء بازدياد الضغوط أى انه كلما تناقصت الضغوط تناقصا خفيفا آخذا فى الازدياد يزداد حجم الهواء زيادة أقل مما يدل عليه القانون

١٣٦ — تطبيق قانون (ماريوط) — اذا كان ح حجم كتلة غازية تحت ضغط ضـ و حَ حجمها اذا كانت تحت الضغط ضـَ كانت العلاقة الآتية مدلول قانون (ماريوط)

$$\frac{ح}{حَ} = \frac{ضـَ}{ضـ}$$

وبطرد المقامات

$$ح\,ضـ = حَ\,ضـَ \qquad (١)$$

وحيث أن ضـَ ضغط مهما كان فمن البين أنه لو كان الضغط ضـً وحجم الكتلة الغازية نفسها المقابل لهذا الضغط حً فانه يكون أيضا ح ضـ = حً ضـً بحيث يصح أن يكون مدلول القانون هكذا

$$ح\,ضـ = حَ\,ضـَ = حً\,ضـً = \ldots \text{ الخ}$$

ومعنى هذه المعادلة أن حاصل ضرب حجم كتلة غازية فى الضغط الواقع عليها كمية ثابتة مهما كان هذا الضغط

ورأينا فى التجربة بانبوبة (ماريوط) أن كتلة الهواء لم تتغير وحينئذ يكون وزنها ثابتا دائما

فاذا كان و وزن الغاز و ح و لَ حجمه ووزنه النوعي والضغط ضـ و حَ لَ حجمه ووزنه النوعي والضغط ضَ يكون ضرورة و = ح لَ = حَ لَ ومن ذلك

$$ح\ لَ = حَ\ لَ \quad أو \quad \frac{ح}{حَ} = \frac{لَ}{لَ} \qquad (١)$$

وحيث ان

$$\frac{ح}{حَ} = \frac{ضَ}{ض} \quad يكون \quad \frac{ضَ}{ض} = \frac{لَ}{لَ} \qquad (٢)$$

ومنطوق المعادلة (١) أن كثافة كتلة غازية تكون على العكس من حجمها فكلما صغر حجم هذه الكتلة ازدادت كثافتها وكلما اتسع حجمها قلت كثافتها

ومنطوق الثانية أن كثافة كتلة غازية تكون متناسبة مع الضغط الواقع عليها فكلما زاد هذا الضغط ازدادت كثافتها

وبقانون (ماريوط) تنحل هاتان المسئلتان

الاولى ـ اذا علم حجم كتلة غازية مضغوطة بضغط معلوم معين وأريد معرفة حجمها وهي مضغوطة بضغط آخر مثال ذلك كتلة غازية حجمها عشرة لترات والضغط الواقع عليها يساوي ٥٨٤ ملليمتر وأريد معرفة حجمها والضغط الواقع عليها يساوي ٢٩٢ ملليمترا فحيث ان الحجوم تكون على العكس من الضغوط يكون الحجم المجهول مساويا $١٠ \times \frac{٥٨٤}{٢٩٢} = ٢٠$ لتر

الثانية ـ اذا علم قوة مرونة كتلة غازية حجمها معلوم وأريد معرفة قوة مرونة هذه الكتلة متى أخذت حجما آخر كان كانت قوة مرونة كتلة غازية وحجمها عشرة لترات تساوي ٥٨٤ ملليمتر وأريد معرفة قوة مرونة هذه الكتلة وحجمها يساوي عشرين لترا فحيث ان الضغط على العكس من الحجوم يكون $٥٨٤ \times \frac{١٠}{٢٠} = ٢٩٢$

١٣٧ ـ تعيين حجم كتلة غازية والضغط عادي ـ لمقارنة عدة كميات غازية تقاس حجومها ولا تكون النتائج قابلة للمقارنة الا اذا قيست الحجوم وضغطها واحد وليس من السهل التصرف في الضغط بحيث يجعل واحدا في عدة غازات غير أنه اذا علم حجم وضغط كل غاز أمكن معرفة حجومها بالحساب عندما يكون ضغطها ضغطا معينا واحدا في جميع الغازات وقد جرت العادة بتقدير حجوم الغازات والضغط الواقع عليها يساوي ٧٦٠ ملليمتر وهو متوسط ضغط الهواء الجوي وهذا الضغط هو المسمى بالضغط المعتاد

فاذا فرضنا أن غازا في مخبار مدرج الى أجزاء متساوية السعة موضوع على الحوض الزئبقي وأنه يمكن رفع المخبار وخفضه حتى يصير سطح الزئبق داخله في محاذاة سطحه خارجه فمن تدريج المخبار يعلم حجم الغاز ح والضغط ض هو ضغط الجو وقت التجربة وهذا يعلم بالبارومتر

فلهذا

فلهذا كان الحجم $ح'$ الذى يشغله الغاز اذا كان الضغط اعتياديا (٧٦٠) ملليمتر يؤخذ من المعادلة $ح' = ح \frac{ض}{٧٦٠}$

فاذا كان حجم المخبار والحوض لا يسمحان بجعل سطح الزئبق داخل المخبار وخارجه فى مستو واحد وكان سطح الزئبق داخل المخبار أعلى منه خارجه فان قوة مرونة الغاز تساوى ضغط الجو $ض$ ناقص طول المسافة بين سطحى الزئبق داخل المخبار وخارجه $ض'$ وهذا يعلم من تدريج المخبار فحجم الغاز $ح'$ يكون حينئذ

$$ح' = ح \frac{ض - ض'}{٧٦٠}$$

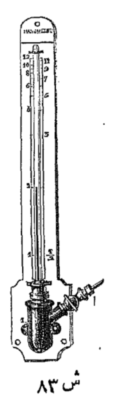
المانومتر

المانومتر آلة معدة لقياس قوة مرونة الغازات والابخرة وهو أنواع

١٣٨ — المانومتر ذو الهواء المطلق — هو أنبوبة من البلور ب (شكل ٨٢) مثبتة على لوح من خشب منحنية انحناءين ينتهى أحد طرفيها بانتفاخ ١ فيه زئبق متصل بأنبوبة ح وهذه توصل بالاناء المغلق المحتوى على الغاز أو البخار المراد معرفة قوة مرونته ولتدريج هذا المانومتر تترك ح مفتوحة فى الهواء فيكون اذ ذاك سطح الزئبق فى الانبوبة ب د وفى المستودع ١ فى مستو واحد فيوضع فى محاذاة سطحه فى أنبوبة ب د رقم ١ للدلالة على أنه متى كان سطح الزئبق فى هذه النقطة كان الضغط مساويا الضغط الجو وفوق هذه النقطة بمسافة طولها ٠,٧٦ متر يوضع رقم ٢ ثم فوق هذه بمسافة ٠,٧٦ متر يوضع رقم ٣ وهكذا حيث ان كل ارتفاع من عمود الزئبق طوله ٠,٧٦ متر يساوى ضغط جو ثم تقسم المسافة بين كل درجة وما بعدها الى عشرة أقسام ليستدل بها على اجزاء الضغط التى تكون أقل من الوحدة فاذا حصل اتصال بين الانبوبة ح واناء محتوعلى بخار وارتفع الزئبق فى الانبوبة الى خمس درجات كان ذلك دليلا على أن الضغط يساوى خمسة جواء وهكذا وقد يوضع داخل الانبوبة ثقل يتصل بنظيره خارجها أمام مسطرة مدرجة الى سنتيمترات من أعلى الى أسفل بخيط يمر على بكرة فاذا ارتفع الزئبق فى الانبوبة رفع الثقل فينخفض نظيره فى الخارج بقدر ارتفاع الآخر فلا تعسر قراءة الدرجات ابعدها

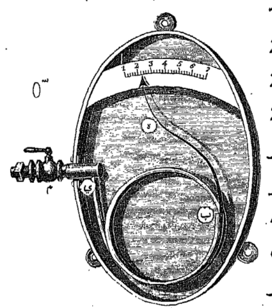
ش ٨٢

١٣٩ — المانومترذو الهواء المضغوط — المانومترذو الهواء المطلق لا يستعمل الا لقياس ضغط لا يتعدى خمسة أو ستة جواء عادة فاذا أريد قياس قوة مرونة أكبر من ذلك استعمل المانومترذو الهواء المضغوط وهو (شكل ٨٣) يتركب من أنبوبة مغلقة أحد الاطراف طرفها الثانى مغمور فى مستودع من الحديد مملوء زئبقا ومغلق من جميع الجهات وفيه فتحة جانبية ا بها يوصل المانومتر بالاناء المراد معرفة ضغط الغاز والبخار الموجود فيه وتدريج هذا المانومتر يكون بمقارنته بعد حبس مقدار مناسب من الهواء فيه بمانومتر ذى هواء مطلق بان يوصل المانومتران باناء فيه هواء مضغوط بطلمبة زئبق فاذا كان سطح الزئبق فى الانبوبة والمستودع فى كلا المانومترين فى مستو واحد وضع على الانبوبة فى محاذاة سطح الزئبق رقم ١ فاذا بلغ ارتفاع سطح الزئبق فى أنبوبة المانومتر ذى الهواء المطلق ٠,٧٦ متر وضع على أنبوبة المانومتر ذى الهواء المضغوط فى محاذاة سطح الزئبق فيها رقم ٢ فاذا بلغ ٢ × ٠,٧٦ متر وضع فى محاذاة سطح الزئبق فى أنبوبة المانومتر ذى الهواء المطلق رقم ٣ وهكذا



ش ٨٣

١٤٠ — المانومتر المعدنى — هذا المانومتر لا زئبق فيه وهو (شكل ٨٤) يتركب من أنبوبة من النحاس الاصفر رقيقة الجدران قابلة للانثناء قطاعها س على يسار الشكل ملفوفة لفا حلزونيا بعضها على بعض لفة ونصف لفة طرفها ى مفتوح يتصل بانبوبة ذات حنفية م بها يتصل المانومتر بالاناء المحتوى على البخار أو الغاز المراد معرفة ضغطه والطرف الآخر مغلق مرسل يتصل بابرة ه فاذا اتصلت هذه الانبوبة باناء فيه بخار فان ضغطه يحدث فك لف الانبوبة فيتحرك طرفها المرسل من اليسار الى اليمين ومعه الابرة وامام هذه قوس مدرج يعلم منه مقدار الضغط المحدث لهذه الحركة أما هذا التدريج فيكون بمقارنة الجهاز بمانومتر ذى هواء مطلق بأن يوصل المانومتران باناء يحتوى على غاز مضغوط كما سبق ذكره فى المانومتر المتقدم

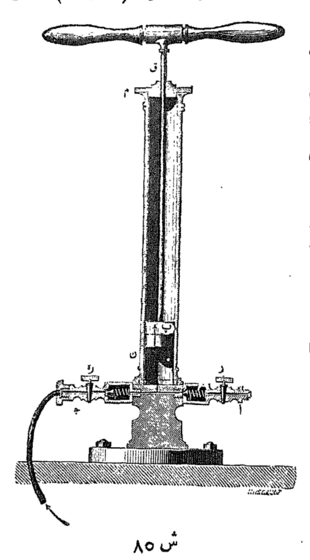


ش ٨٤

الآلات

الآلات المفرغـــــه

١٤١ — طلمبة اليـد ـ طلمبة اليد تتركب من أنبوبة اسطوانية (شكل ٨٥) تسمى جسم الطلمبة من يتحرك فيها مكبس ب مغلف بالجلد بواسطة ساق ذات يد ق وفى الجزء السفلى من جسم الطلمبـة أنبوبتان جانبيتان ا و حـ فى كل واحـدة منهـما صمام مغلق بمخروط معدنى يدخل باحكام فى فتحة مصـنوعة فى محور الانبوبة ولكل مخروط ساق صغيرة معدنية يحيط بها زنبلك حلزونى به يميـل المخروط دائما الى الانطباق على الفتحـة وهـذان الصمامان موضـوعان بكيفية بها ينفتح احدهما بزيادة الضغط داخل جسم الطلمبة والآخر بزيادته خارجها فاذا فرضنا اتصال حـ بدورق مملوء هواء على الضـغط الجوّى ورفـع المكبس فان الضغط ينقص فى جسم الطلمبـة والصمام الكائن بين حنفية

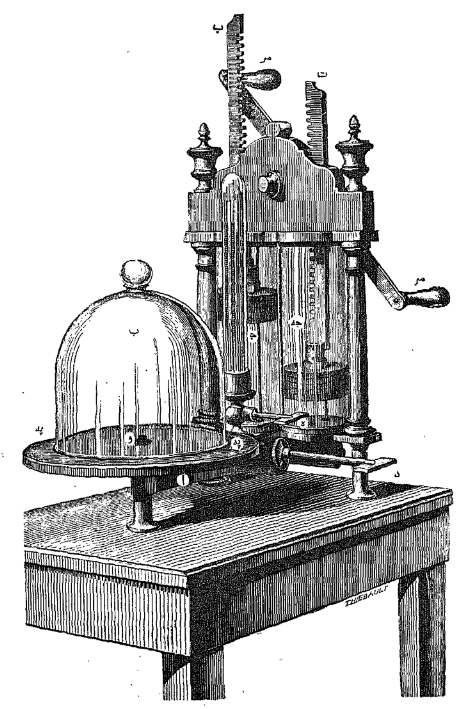


ش ٨٥

ره وجسم الطلمبة ينفتح من الخارج الى الداخل مع كون نظيره ينغلق من الخارج الى الداخل فحينئذ ينتشر جزء من غاز الدورق فى جسم الطلمبة فاذا خفض المكبس ضـغط الغـاز الذى فى جسم الطلمبة فينفتح ضـغط الصمام بين ر وجسم الطلمبـة وينغلق الآخر بعـد أن كان مفتوحا فيخرج بالضغط جزء من الهواء الذى كان فى جسم الطلمبة وباستمرار العمل هكذا يخرج فى كل كبسة كمية مما كان فى الدورق من الهواء

١٤٢ — الآلة المفرغة ـ تتركب هذه الآلة (شكل ٨٦) من جسمى طلمبة جه و جـ من البلور معتنى بصنعتهما يكونا اسطوانتين يدخل فى كل واحد منهـما مكبس وهما يتصلان من أسفل بقناة واحدة من الحديد الزهر ا وينتهى طرف هذه القنـاة و فى مركز قرص

الآلة په په وهو قرص مستدير من البلور دعك وجهه العلوى بالصنفرة ليصير مستويا فاذا أريد وضع شئ فى الفراغ وضع على هذا القرص وغطى بالناقوس ب حافته محكوكة أيضا بالصنفرة بعد دهن هذه الحافات بدهن حتى لا يكون بينها وبين القرص فضاء وفى طرف

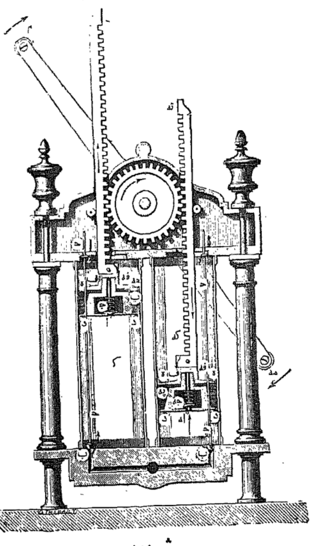


ش ٨٦

القناة و برمة عليها يمكن تركيب الآلات المراد عمل الفراغ فيها والانابيب التى يقصد بها توصيل الاجهزة بالآلة المفرغة اذا لم يمكن وضع الاجهزة على الآلة مباشرة

ولنكتف

ولنكتف بشرح أحد جسمى الطلمبة لتشابه الاثنين فنقول ان المكبس مكون من دوائر من الجلد مضغوطة بين دائرتين معدنيتين د د و ه ه (شكل ٨٧) ضم بعضها الى بعض بضاغط برمى ف ه ف ليكون بذلك انطباق الجلد على الجدار الداخل لجسم الطلمبة تاما وفى محور القطعة المعدنيـة الضامة للاقراص قناة تنفتح خارجـة فيها صمـام مغلق بقرص معدنى ح على الفتحة ا وبواسطة زنبلك ملتف حول ساق عمودية على القرص يكون هذا القرص ضاغطا بلطف على الفتحة ا ويمر فى المكبس باحتكاك لطيف ساق ح ح بحيث يحركها المكبس معه فاذا لامست نقطة ثابتة فانها تنزلق فلا تتبع حركة المكبس وينتهى طرف هـذه السـاق بزر مخروطى يدخـل باحكام فى فوهـة القنـاة ب



ش ٨٧

وفى طرفها العلوى مانع به يتكئ الساق على القاعدة العليا لجسم الطلمبة متى تحرك المكبس الى أعلى قليلا ليمنع حركة الساق

ويتحرك كل مكبس بساق مسنن يتعشق فى طارة مسننة موضوعة فى قطعة معدنية تعلو الاسطوانتين وهذه الطارة تحرك بيد ذات فرعين لكل واحد منهما قابضة م م وبحركة الطارة يرتفع أحد المكبسين حال انخفاض الاخرى على التعاقب

ولبيان سير هذه الآلة نفرض أن أحد المكبسين منخفض لقعر جسم الطلمبة ثم أخذ فى رفعه فان الزر المعـدنى يرتفع قليلا عن الفتحة ب وبعـد قليل تقف الساق ح ح عن الحركة لملامسة المانع المنتهية به من أعلى الى القـاعدة العليا لجسم الطلمبة فيتحرك المكبس وحـده

فيشغل الهواء المحصور تحت الناقوس بسبب تباعد الزر عن فتحته وحصول الاتصال بين الناقوس وجسم الطلمبة حجما آخذا فى الازدياد ولهذا تأخذ مرونته فى النقصان وفى هذا الزمن يكون القرص حـ مغلقا للفتحة ا حيث انه يحمل من أعلى ضغط الهواء الجوّى وهو أعظم من الضغط الحاصل عليه من أسفل وهو ضغط هواء الناقوس فاذا وصل المكبس الى منتهى سيره وأخذ فى العودة أى السقوط الى أسفل فان الساق حـ حـ تتحرك معه فينسد الزرّ الفتحة ب فتنقطع المواصلة بين الناقوس وجسم الطلمبة وتأخذ مرونة الغاز الذى انحصر فى جسم الطلمبة تحت المكبس فى الازدياد بسبب أخذ المسافة التى يشغلها فى النقصان فاذا زادت عن ضغط الهواء فان القرص حـ يفارق الفتحة ا فيخرج جزء من الهواء الى أن يصل المكبس الى منتهى سيره وتحصل هذه الظواهر كلما صعد المكبس ونزل أى فى كل كبسة

١٤٣ — قانون تناقص المرونة باعتبار الآلة المفرغة محكمة — فى كل دفعة يرتفع فيها المكبس فى جسم الطلمبة فان جزأ من الهواء يأتى الى جسم الطلمبة ويخرج منه عند نزول المكبس وبذلك يخرج فى كل كبسة جزء من الهواء الذى بقى بعد الكبسة السابقة وعلى ذلك لا يتأتى استخراج الهواء من الناقوس بتمامه ولو فرضت الآلة محكمة

فاذا رمزنا لحجم الناقوس والقنوات الموصلة بين الناقوس وجسمى الطلمبة بالحرف ح وبالحرف حـ لجسم الطلمبة متى كان المكبس فى أعلى مكان منه وبالحرف هـ للضغط الجوّى فبرفع المكبس فى المرة الاولى فان الهواء الذى كان شاغلا للحجم ح تحت الضغط هـ يشغل الحجم ح + حـ واذا رمزنا للضغط فى هذا الوقت بالحرف ه فانه يكون مطابقا للعلاقة الآتية بناء على قانون (ماريوط)

$$\frac{\text{ه}}{\text{هـ}} = \frac{\text{ح}}{\text{ح}+\text{حـ}} \quad \text{ومنها} \quad \text{ه} = \text{هـ}\,\frac{\text{ح}}{\text{ح}+\text{حـ}}$$

أى أنه يلزم للحصول على قوة المرونة بعد الكبسة الاولى ضرب مرونة الهواء قبل الكبسة فى الكسر $\frac{\text{ح}}{\text{ح}+\text{حـ}}$ ويلزم للحصول على الضغط $\text{ه}'$ بعد الكبسة الثانية ضرب

$$\text{ه}\,\frac{\text{ح}}{\text{ح}+\text{حـ}} \quad \text{فيكون} \quad \text{هـ}\left(\frac{\text{ح}}{\text{ح}+\text{حـ}}\right)^{٢} \quad \text{وهكذا}$$

وعلى العموم اذا رمزنا بالحرف ه لقوة مرونة الهواء بعد م كبسه يكون

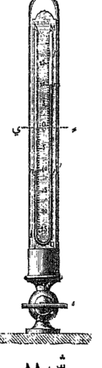
$$\text{ه}_{\text{م}} = \text{هـ}\left(\frac{\text{ح}}{\text{ح}+\text{حـ}}\right)^{\text{م}}$$

وحيث ان $\frac{\text{ح}}{\text{ح}+\text{حـ}}$ أقل من الوحدة فقيمة $\text{ه}_{\text{م}}$ تكون آخذة فى التناقص كلما ازدادت م فاذا صار كبر م كافيا يصير $\text{ه}_{\text{م}}$ صغيرا بقدر ما يراد وحينئذ يمكن تصغير قوة المرونة كثيرا بازدياد عدد المكبس لكن من غير انعدامها

١٤٤ — المسافة المضرّة — مهما كان احكام ضغط الآلة المفرغة فانه يبقى دائما بين المكبس وقعر جسم الطلمبة متى كان المكبس فى منتهى سيره من أسفل مسافة فارغة تسمى بالمسافة المضرة فاذا أمكن عمل الفراغ الى أن يصير الهواء الشاغل لجسم الطلمبة بحيث لا تزيد مرونته عن مرونة الهواء الجوّى متى كان المكبس فى منتهى سيره من أسفل فان انخفاض المكبس لا يحدث فتح الصمام ح فينقطع خروج الهواء ولكل آلة مسافة مضرّة وبذلك يكون لها نهاية ضغط لقوّة المرونة لا يمكن تعدّيها وتكون أصغر كلما صغرت نسبة حجم المسافة المضرة الى حجم جسم الطلمبة

١٤٥ — تأثير دخول الهواء — أكبر عيب فى معظم الآلات هو وجود فجوات يدخل منها الهواء خصوصا حول الصمام الكائن فى المكبس ويكون دخول الهواء من هذه الفجوات بسرعة كلما كان ضغط الهواء فى جسم الطلمبة ضعيفا وقد يصير مقدار ما يدخل من الهواء بقدر ما يخرج بالمكبس مهما كانت سرعة المكبس فلا يكون فى استمرار تشغيل الآلة فائدة واذا أريد ايقاف العمل مع حفظ الفراغ الذى عمل وجب منع الاتصال بين الناقوس وجسم الطلمبة وهذا يحصل بالحنفية د الكائنة فى القناة أ فبها يمكن عمل المواصلة بين الناقوس وجسم الطلمبة أو بين الهواء الخارج والناقوس .

١٤٦ — مزية وجود جسمى طلمبة — فى الآلات التى فيها جسم الطلمبة واحد كطلمبة اليد يلزم فى كل مرة رفع فيها المكبس مقاومة الفرق بين الضغط الحاصل على سطح المكبس من أعلى والحاصل عليه من أسفل أما فى الآلة المفرغة ذات جسمى الطلمبة فان المكبسين يحملان على السطح العلوى ضغطى الهواء لكنهما فى اتجاهين مختلفين وهذا لا يستدعى الا مقاومة الفرق بين الضغطين الحاصل على سطحيهما السفليين وهو الفرق بين قوتى مرونة الهواء المتخلخل فى جسمى الطلمبة

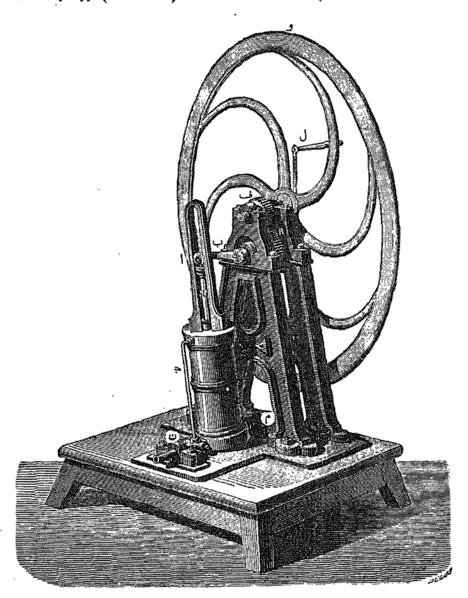


ش ٨٨

١٤٧ — مانومتر الآلة المفرغة — يصحب الآلة المفرغة مانومتر معد لمعرفة مرونة ما يبقى تحت الناقوس من الهواء فى كل وقت وفى الغالب يكون هذا المانومتر (شكل ٨٨) من أنبوبة من زجاج منحنية الى فرعين أحدهما مغلق وهى موضوعة على مسطرة مدرجة معدنية تحت ناقوس متصل بقناة الآلة المفرغة بحنفية تملأ هذه الانبوبة بالزئبق كما يملأ مانومتر ممص وحيث ان طول الفرع لا يتعدى ٢ ديسمتر فان الهواء بضغطه على سطح الزئبق فى الفرع المفتوح يجعل الزئبق

مالئا للفرع المغلق واصلا لقمته فاذا صغر الضغط صغرا واضحا فان الزئبق ياخذ فى الانخفاض فى الفرع المغلق والارتفاع فى الفرع الآخر فاذا صار الضغط معدوما فان سطحى الزئبق يصيران فى الفرعين فى مستو واحد ى ح وقد رأينا أن الضغط لا يصل قط الى العدم وتقاس قوة المرونة بعمود الزئبق كما يقاس الضغط الجوى فى البارومتر الممص بأن يستعمل تدريجان صفرهما مشترك فى المستوى ى ح

١٤٨ — الآلة المفرغة لبيانكى — هذه الآلة (شكل ٨٩) تتركب من جسم طلمبة

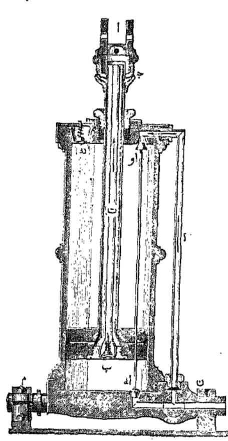


ش ٨٩

ذات عمل مزدوج ولو كانت اسطوانتها واحدة وفيها جميع مزايا الطلمبة ذات الجسمين فالمكبس يتحرك بطارة وتنتقل حركتها الطارتين مسننتين ر ف وهما يكسبان الساق ء

حركة

حركة ذهاب واياب بواسطة القطعة ب وفى هذا الوقت تتذبذب الاسطوانة حول المحور م ن وتتصل الاسطوانة بالاجهزة المختلفة المراد تخلخل الهواء فيها بانبوبة من الصمغ المرن سميكة حتى لا يطبقها الهواء بحصول الفراغ فيها توضع فى الطرف ن للقناة المصنوعة فى المحور م ن وهواء الناقوس يأتى للاسطوانة اما بالفتحة له (شكل ٩٠) أو بالفتحة ا و وكلتا الفتحتين تنغلق على التعاقب باحد الزرين اللذين ينتهى بهما طرفا الساق ا و له وهى ساق تمر باحتكاك ضعيف فى المكبس وفى ب و به صمامان كالموجودين فى مكبس الآلة المفرغة الاعتيادية



ش ٩٠

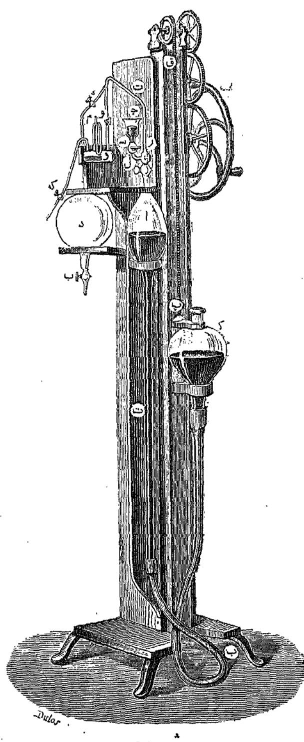
فبانخفاض المكبس كما فى (شكل ٩٠) يصل هواء الناقوس الى الجزء العلوى من جسم الطلمبة بالانبوبة ك والفتحة ا و وفى هذا الوقت وقت انحصار الهواء تحت جسم الطلمبة يطرد هذا الهواء من الصمام ب فيخرج من التجويف المفعول فى باطن الساق ت كما يشير اليه السهم

واذا ارتفع المكبس فان ا و ينغلق بالزر فيطرد ما ينحصر من الهواء أعلى المكبس بالصمام به وفى الوقت نفسه يصل هواء الناقوس الى الجزء السفلى من جسم الطلمبة بالفتحة له ويكون الصمام ب مغلقا بضغط الهواء الجوّى

فالمكبس يقسم جسم الطلمبة الى قسمين يعملان عمل جسمى طلمبة

١٤٩ — الآلة المفرغة الزئبقية — هى آلة معدة لعمل فراغ أشد مما تفعله الآلات الاخر وهى تتركب (شكل ٩١) من أنبوبة بارومترية ت منتفخة فى جزئها العلوى تعمل عمل بارومتر خزانته البارومترية ا وتتصل هذه الانبوبة بواسطة أنبوبة ثخينة من الصمغ المرن ب بحوض ك مفتوح فى الهواء والانبوبة ت موضوعة مع ما جاورها من الانابيب وضعا ثابتا على لوحة وضعت وضعا رأسيا أما الحوض ك فيمكن الاتيان به بواسطة السلسلة ب ق التى تحركها الطارة ف الى الجزء أو العلوى من الجهاز وذلك بادارة الطارة

فى اتجاه أوّ فى آخر والحنفية ر التى تعلو التجويف ا هى حنفية ذات ثلاث طرق (شكل ٩٢) تأخذ زمن العمل وضعين مختلفين هما و ر فمتى كانت فى الوضع و فانها توصل بين التجويف ا وبين الانابيب التى تعلوه ومتى كانت فى الوضع ر فانها تمنع هذا الاتصال وتجعله بين التجويف ا والانبوبة الجانبية المنتهية بالحوض ح الذى يملأ زئبقا



ش ٩١

وقبل استعمال الآلة فى عمل الفراغ يطرد ما يكون فى الانبوبة البارومترية من الزئبق بان توضع الحنفية فى الوضع ر ويجعل الحوض لـ فى منتهى ارتفاعه فيسيل الزئبق من لـ الى ا ويضغط الهواء ومتى حصلت الموازنة فى كتلة السائل فان الهواء المضغوط بين سطح الزئبق والحنفية س يكون فى ضغط أكبر من ضغط الجوّ فتفتح الحنفية س بلطف فيخرج هذا الهواء الى الخارج مارّا من الحوض خ وبذلك يكون الزئبق الذى فى الجزء ب ا قد ملأ التجويف ا بتمامه الى الحنفية س فتقفل س وينزل الحوض الى منتهى انخفاضه فيسيل الزئبق من ا الى ك فيحدث ذلك فراغا بارومتريا فى الجزء العلوى من ا وبذلك تكون الآلة مستعدّة للعمل بها

وفى

وفى العادة يبدأ بعمل الفراغ فى الاجزاء المرادة لهذا العمل بالآلات المفرغة الاعتيادية ثم بعد ذلك توصل بالانبوبة ك وذلك للسرعة فقط ثم توضع الحنفية فى الوضع و (شكل ٩٢) مع فتح الحنفية ك فيمر جزء من غاز الجهاز فى الخزانة البارومترية فيحدث هذا الغاز انخفاض الزئبق فاذا صار فى حالة موازنة جعلت الحنفية فى الوضع ر والحوض ك فى منتهى ارتفاعه لينضغط الغاز الذى شغل التجويف ا ثم يطرد هذا الغاز بفتح الحنفية س

ش ٩٢

ويتكرر العمل هكذا وادخال جزء من غاز الجهاز فى الآلة ثم طرده منها الى الهواء يتوصل الى جعل ضغط الغاز والجهاز ضعيفا جدا حتى أن البارومتر م لايدل الا على فرق قليل فى سطحى الزئبق فى الفرعين

أما الحوض و الموضوع بين الآلة والاجهزة المراد عمل الفراغ فيها فيحتوى على حمض الكبريتيك حتى لايدخل فى الجهاز الاهواء جاف فيكون الجهاز جافا على الدوام والدورق د لايستعمل الا نادرا فانه لايستعمل الاواسطة عندما يكون الغاز المراد استخراجه من الجهاز مؤثرا فى الزئبق فعند ذلك يستعمل الدورق بأن يعمل فيه الفراغ ثم يوصل بالجهاز المراد تفريغه فيؤخذ جزء من غازه ثم يطرد هذا الغاز من الدورق بتيار من الهواء و يعمل فيه الفراغ ويوصل بالجهاز وهكذا

الطلمبات

الطلمبات مستعملة لرفع السوائل وهى ثلاثة أنواع ماصة وكابسة وماصة كابسة

١٥٠ — الطلمبة الماصة — تتركب من جسم طلمبة حح َ (شكل ٩٣) يتحرك فيه مكبس ع وله أنبوبة يسيل منها الماء ا وأنبوبة امتصاص م نازلة من جسم الطلمبة الى مستودع الماء المراد رفعه ب ب َ وفى محل اتصال جسم الطلمبة لهذه الانبوبة صمام ينفتح من أسفل الى أعلى ء وهو قرص معدنى مغلف بالجلد يتحرك حول مفصل وفى خلال المكبس نفسه صمامان د د َ ينفتحان أيضا من أسفل الى أعلى و يتسلط عادة على الساق المتصل بالمكبس رافعة بها يسهل خفض المكبس ورفعه

فاذا فرضنا ان الانبوبة م موضوعة فى مستودع الماء ومملوءة بالهواء والمكبس فى منتهى انخفاضه فاذا رفع هذا المكبس فانه يحدث محله فراغا من أعلى الى أسفل فيضغط الهواء على الصمامين د دَ فيجعلهما مغلقين أما الصمام د فانه ينفتح بسبب ضغط الهواء عليه من أسفل لاعلى فينتشر جزء من هذا الهواء فى جسم الطلمبة فتنقص قوة مرونته كلما ارتفع المكبس فيرتفع ماء المستودع فى الانبوبة الى أن يصير ضغطه على السطح ب بَ وضغط ما يعلو من الهواء مساويا للضغط الجوى ولنفرض انه بوصول المكبس لاعلى ارتفاعه لايكون الماء قد وصل للصمام د فعند وقوف المكبس تكون موازنة قوة المرونة للهواء قد تمت وصارت فى أعلى الصمام كاسفله فينسد لسقوط قرصه بثقله فاذا أنزل المكبس فان ما انحصر من الهواء أسفله ينضغط فتزيد مرونته الى أن تصير أكثر من مرونة الهواء فينفتح الصمامان د دَ فيخرج جزء من الهواء المحصور الى الخارج زمن نزول المكبس



ش ٩٣

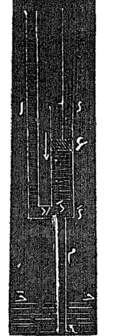
فاذا بلغ المكبس منتهى نزوله انغلق هذان الصمامان لتساوى الضغط أعلاهما وأسفلهما وصارت الطلمبة كما كانت قبل غير أنه ارتفع فى الانبوبة الموضوعة فوق المستودع جزء من الماء وحل محل الهواء فاذا كبس المكبس مرة ثانية ارتفع هذا الماء أكثر مما ارتفعه فى الحالة الاولى والثالثة أكثر من الثانية وهكذا الى أن يدخل فى جسم الطلمبة وحينئذ يمر من الصمامين د دَ فى كل خفضة للمكبس مقدار من الماء يساوى سعة جسم الطلمبة ويسيل من أنبوبة السيلان ويدخل جزء من الماء فى جسم الطلمبة فى كل مرة رفع فيها المكبس وهكذا

ولارتفاع السائل الى أنبوبة الفيضان يلزم نظريا أن لا يتعدى طول أنبوبة المستودع وجسم الطلمبة ١٠ امتار ولكن دل العمل على أنه لتسير الطلمبة سيرا منتظما يجب أن لا يكون الطول أكثر من ٧ أو ٨ امتار وذلك اما لكون المكبس لا يصل الى آخر جسم الطلمبة أو لكون الصمامات لاتحكم الغلق فيدخل قليل من الهواء

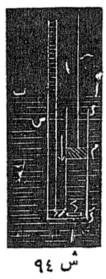
١٥١ — الطلمبة الكابسة — فى الطلمبة الكابسة جسم الطلمبة د دَ (شكل ٩٤) مغمور فى ماء المستودع ويتصل جزؤه السفلى بانبوبة الفيضان والمكبس م مكبس مصمت فاذا رفع حصل تحته فراغ فينفتح الماء بضغطه الصمام دَ ويملأ جسم الطلمبة فاذا انخفض

المكبس

المكبس فان هذا الصمام ينغلق و ينفتح الصمام د بالضغط الحاصل من الماء بالكبس فيدخل الماء فى أنبوبة الفيضان ويرتفع فيها ومتى وصل الى حافات الانبوبة وذلك بعدعدة كبسات فانه يسيل منها فى انخفاض المكبس مقدار من الماء مساو لسعة جسم الطلمبة



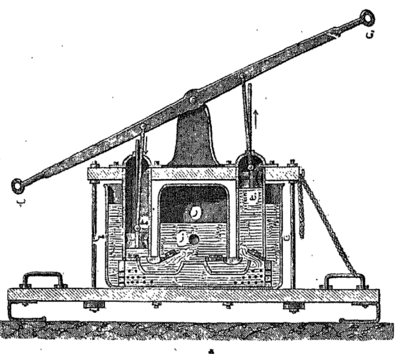
٩٥



ش ٩٤

١٥٢ — الطلمبة الماصة الكابسة — هى المتحد من الطلمبتين الماصة والكابسة فجسم الطلمبة لها د دَ (شكل ٩٥) يمتلئ بالمص عند رفع المكبس و يندفع مافيه من الماء الى أنبوبة الفيضان ا بانخفاض المكبس فالجهاز حينئذ يعمل مع التعاقب كطلمبة ماصة ثم كابسة

١٥٣ — طلمبة الحريق — هى (شكل ٩٦) وهى كالآلة المفرغة الاعتيادية

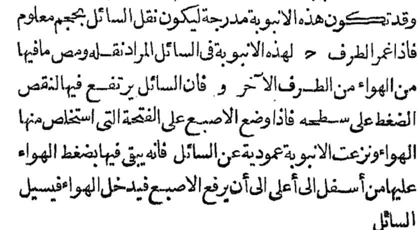


ش ٩٦

تتركب من جسمى طلمبة بعضهما بجانب بعض فى حوض من الخشب م ن مملوء دائما بالماء مدة تشغيلها والمكبسان مه و نه يتحركان بواسطة ذراعين يحركهما ثمانية رجال

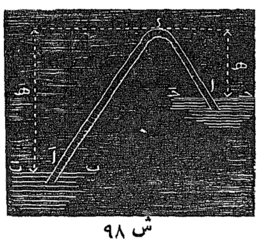
وبامتصاص أحد المكبسين للماء من الصندوق فان الآخر يقذفه الى مستودع ر وهو مستودع الهواء فينضغط هذا وبقوة مرونته يقذف الماء ويلزمه الخروج من الفتحة ز فى أنبوبة مستطيلة من الجلد يوجه بها الماء الى النار وفى عمل هذا الهواء أيضا تنظيم خروج الماء فلا يخرج متقطعا الان ما يدخل فى هذا المستودع من الماء أكثر مما يخرج منه فينضغط الهواء وتزيد مرونته وهى تلزم الماء بالخروج فى كل وقت حتى فى لحظة وقوف الآلة التى بها تتغير حركة المكابس

١٥٤ — البيبيت — هى أنبوبة (شكل ٩٧) ينقل بها السائل من مكان الى آخر وقد تكون هذه الانبوبة مدرجة ليكون نقل السائل بحجم معلوم فاذا غمر الطرف ح لهذه الانبوبة فى السائل المراد نقله ومص ما فيها من الهواء من الطرف الآخر و فان السائل يرتفع فيها لنقص الضغط على سطحه فاذا وضع الاصبع على الفتحة التى استخلص منها الهواء ونزعت الانبوبة عمودية عن السائل فانه يبقى فيها بضغط الهواء عليها من أسفل الى أعلى الى أن يرفع الاصبع فيدخل الهواء فيسيل السائل



ش ٩٧

١٥٥ — الممص — هو أنبوبة منحنية (شكل ٩٨) تستعمل لنقل السوائل فيغمر طرفها القصير فى السائل المراد نقله ويمص الهواء من طرفها الطويل فتمتلئ بالسائل فاذا تركت وشانها سال منها السائل مادامت فتحة السيلان منخفضة على سطح السائل فى الاناء المنقول منه ولبيان ذلك نبحث عن الضغط الحاصل فى طرفى عمود السائل فى ا و اَ (شكل ٩٨) فنجد أن الطبقة ا من سطح السائل ح حَ تحمل ضغطا من أسفل لاعلى

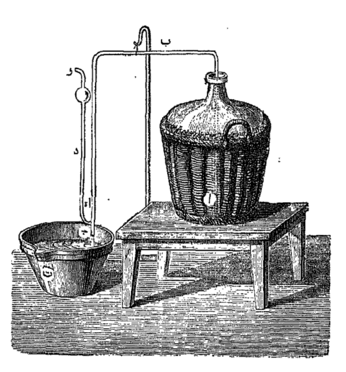


ش ٩٨

هو ضغط الهواء الجوى ه ومن أعلى لاسفل هو ضغط عمود السائل الذى يعلوها وحيث ان نقطة د هى النقطة الاكثر ارتفاعا يكون الضغط الحاصل على ا من أعلى لاسفل مساويا لوزن عمود من السائل طوله هـ فيكون الضغط الحاصل فى طبقة ا عبارة عن ه — هـ واتجاهه ا د وهو ينتقل فى كتلة السائل بتمامه أيضا

والطبقة

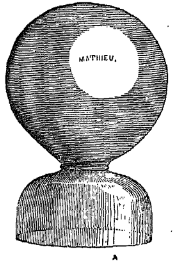
والطبقة أَ تحمل ضغطا من أسفل هو ضغط الهواء الجوّى ه ومن أعلى لاسفل تحمل ضغطا مساويا لوزن ما يعلوه من السائل وطوله هـَ ويكون حينئذ الضغط الحاصل عليها هو ه ــ هـَ واتجاهه أَ ى وهذا الضغط ينتقل لجميع كتلة السائل الكائنة فى الممص أيضا فهذه الكتلة اذن تحمل ضغطين غير متساويين وفى اتجاهين متضادين أحدهما ه ــ هـَ فى الاتجاه أَ ى والآخر ه ــ هـ فى الاتجاه أ ى فتتحرك فى اتجاه أصغرهما وهو أَ ى بقوّة مقدرة بعمود من السائل قطره الممص ويساوى الفرق بين الضغطين ه ــ هـ و ه ــ هـَ أى هـَ ــ هـ ولنقل السوائل بهذا الممص يملأ أولا بالسائل أو يغمر طرفه القصير فى السائل ثم يمص بالفم من فتحة الطرف الطويل حتى اذا امتلأ ترك وشأنه كما ذكرنا هذا اذا كان لا تأثير للسائل على الفم والا استعمل ممص يسمى بالمركب والاوّل يسمى بالبسيط فهذا فيه بالقرب من الفتحة جـ (شكل ٩٩) أنبوبة جانبية د و ولاستعماله يغمر الفرع القصير فى السائل ويمص منه الهواء بالفتحة و بعد غلق الفتحة جـ بالاصبع فاذا بلغ السائل أ ه ترك الممص وشأنه



ش ٩٩

١٥٦ — المحاجم — هى نواقيس من زجاج توضع على أجزاء من البدن بعد عمل الفراغ فيها كثيرا أو قليلا فيحمر و ينتفخ جزء الجلد الذى قل الضغط فوقه بسبب هروع الدم وسوائل البنية اليه وتسمى هذه العملية بالحجامة و يقال لها جافة لعدم خروج دم من البنية فيها بخلاف

ما اذا فعل فى هذا الجزء تشاريط قبل وضع الناقوس عليها فتنفتح بعض الاوعية فيسيل الدم بكثرة وفى هذه الحالة يقال للحجامة رطبة



ش ١٠٠

وتخلخل الهواء فى المحاجم يلهب فيها قليل من الورق أو يسخن على مصباح كؤلى فاذا امتلأ المحجم بالهواء الحار وضعت على الجزء المراد حجامته فتنقص مرونته بالتبريد وقد يكون بالمحجم أنبوبة يركب عليها طلمبة يتخلخل بها الهواء ويسمى هذا المحجم بذى الطلمبة والمرسوم (شكل ١٠٠) محجم بسيط فى استعماله فهو قليل الارتفاع وفى جزئه العلوى أنبوبة يركب عليها كرة مجوفة سميكة الجدران من الصمغ المرن وللعمل به تضغط بين الاصابع فيطرد ما فيها من الهواء وحينئذ توضع على المكان المراد عمل الحجامة فيه ثم يضبط فى هذا المكان ويمنع تحامل الاصابع عن كرة الصمغ المرن فيتخلل الهواء لكونه يشغل مسافة أوسع مما كان يشغلها

والحمد لله على التمام والصلاة والسلام
على من هو للانبياء ختام

وكان الفراغ من طبع هذا الجزء بالمطبعة الكبرى الاميرية فى أوائل شعبان المعظم سنة ١٣٠٥ هجريه

فهرســــة كتاب مبادى الطبيعة (جزء التثاقل)

تابع فهرسة كتاب مبادى الطبيعة (جزء التثاقل)

تابع فهرسة كتاب مبادى الطبيعة (جزء التثاقل)

تابع فهرســـــة كتاب مبادى الطبيعة (جزء التثاقل)

(تمت الفهرست)



Bibliotheca Alexandrina
05737727